

Postverlagsort Berlin

BEITRÄGE ZUR MINERALOGIE UND PETROGRAPHIE

UNTER MITWIRKUNG VON

TOM. F. W. BARTH
OSLO

W. v. ENGELHARDT
ISERNHAGEN N.B. BEI HANNOVER

P. ESKOLA
HELSINKI

HERAUSGEGEBEN VON

C. W. CORRENS
GÖTTINGEN

6. BAND, 1. HEFT

MIT 24 TEXTABBILDUNGEN

(ABGESCHLOSSEN AM 4. OKTOBER 1957)



SPRINGER-VERLAG
BERLIN • GÖTTINGEN • HEIDELBERG
1957

Preis DM 29.80

Das hier vorliegende Heft 1 des 6. Bandes der

„Beiträge zur Mineralogie und Petrographie“

unter Mitwirkung von

TOM. F. W. BARTH
Oslo

W. V. ENGELHARDT
Isernhagen N. B. bei Hannover

P. ESKOLA
Helsinki

herausgegeben von

C. W. CORRENS
Göttingen

bildet die Fortsetzung der bisher erschienenen fünf Bände der

„Heidelberger Beiträge zur Mineralogie und Petrographie“

Es werden Arbeiten in deutscher, englischer und französischer
Sprache aufgenommen.

Beiträge zur Mineralogie und Petrographie

Begründet und herausgegeben 1947 von O. H. ERDMANNSDÖRFFER unter Mitwirkung von C. W. CORRENS und H. STEINMETZ als „Heidelberger Beiträge zur Mineralogie und Petrographie“. Ab Band 1 Heft 2/3 herausgegeben von O. H. ERDMANNSDÖRFFER unter Mitwirkung von C. W. CORRENS, F. K. DRESCHER-KADEN u. H. STEINMETZ.

Redaktion ab Band 4 Heft 5 (1955): C. W. CORRENS unter Mitwirkung von F. K. DRESCHER-KADEN, D. HOENES u. H. STEINMETZ; für Band 5 Heft 1: C. W. CORRENS unter Mitwirkung von F. K. DRESCHER-KADEN u. H. STEINMETZ; für Band 5 Hefte 2—4: C. W. CORRENS unter Mitwirkung von F. K. DRESCHER-KADEN, W. v. ENGELHARDT u. H. STEINMETZ.

Ab Band 6 „Beiträge zur Mineralogie und Petrographie“, Berlin, Springer

Die „Beiträge zur Mineralogie und Petrographie“ erscheinen zwanglos in einzeln berechneten Heften, die zu Bänden vereinigt werden, und sind durch die Buchhandlungen zu beziehen.

Von jeder Arbeit werden 50 Sonderabdrucke unentgeltlich geliefert, weitere gegen entsprechende Berechnung.

Der Autor erhält einen Unkostenersatz von DM 20.— für den 16seitigen Druckbogen.

Es wird ausdrücklich darauf aufmerksam gemacht, daß mit der Annahme des Manuskriptes und seiner Veröffentlichung durch den Verlag das ausschließliche Verlagsrecht für alle Sprachen und Länder an den Verlag übergeht. Grundsätzlich dürfen nur Arbeiten eingereicht werden, die vorher weder im Inland noch im Ausland veröffentlicht worden sind, und die auch nachträglich nicht anderweitig zu veröffentlichen der Autor sich verpflichtet. Bei Einsendung des Manuskriptes ist mitzuteilen, ob dasselbe oder eines ähnlichen Inhalts schon einer anderen Zeitschrift angeboten wurde.

Es ist ferner ohne ausdrückliche Genehmigung des Verlages nicht gestattet, photographische Vervielfältigungen, Mikrofilme, Mikrophoto u. ä. von den Zeitschriftenheften, von einzelnen Beiträgen oder von Teilen daraus herzustellen.

Bei Arbeiten aus Instituten ist eine Erklärung des Direktors oder eines Abteilungsleiters beizufügen, daß er mit der Publikation der Arbeit aus dem Institut bzw. der Abteilung einverstanden ist und den Verfasser auf die Aufnahmebedingungen aufmerksam gemacht hat.

Manuskripte und alle redaktionelle Anfragen werden erbeten an:

Professor Dr. Tom. F. W. Barth, Mineralogisch-Geologisches Museum, Oslo 45 (Norwegen)
oder an

Professor Dr. C. W. Correns, Sedimentpetrographisches Institut der Universität, (20b) Göttingen, Lotzestraße 13, oder an

Professor Dr. W. v. Engelhardt, (20a) Isernhagen N. B. bei Hannover, Am Kahlendamm
oder an

Professor Dr. P. Eskola, Mineralogisches Institut der Universität, Helsinki (Finnland)

Springer-Verlag

Heidelberg
Neuenheimer Landstr. 28—30
Fernsprecher 279 01

Berlin W 35
Reichpietschufer 20
Fernsprecher 249 251

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in dieser Zeitschrift berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, daß solche Namen im Sinn der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürften.

Aus dem Sedimentpetrographischen Institut der Universität Göttingen

Über die Eigenschaften der Glimmer in den Sanden und Sandsteinen

Von

JADVYGA RIMŠAITE

Mit 9 Textabbildungen

(Eingegangen am 26. März 1957)

Inhaltsübersicht

	Seite
Einleitung	2
A. Zur Struktur und Polymorphie der Glimmer	2
1. Glimmerstruktur	2
2. Tonmineralnamen mit in der Literatur ungeklärten Definitionen	4
3. Ungeklärte Probleme und Problemstellung	4
B. Angewandte Methoden	6
I. Mikroskopische Untersuchungen	6
II. Röntgenographische Untersuchungen	6
III. Halbquantitative Spektralanalysen	6
IV. Differentialthermoanalysen	6
C. Das Untersuchungsmaterial	7
I. Proben	7
II. Verteilung der Glimmer in Sandsteinen und ihre Trennung von anderen Mineralien	7
D. Optische Untersuchungen	8
I. Methodisches	8
a) Lichtbrechung S. 8. — b) Doppelbrechung S. 12. — c) Farbe S. 12. — d) Achsenwinkel S. 12.	
II. Die Ergebnisse der optischen Untersuchungen	12
1. Untersuchung der Streupräparate in Canadabalsam	12
a) Umriß und Spaltbarkeit S. 12. — b) Ergänzung der optischen Tabellen 1a—d S. 13. — α) Ein- und Auflagerungen S. 14. — β) Verwachsungen S. 16. — γ) Über das Vorkommen des Muskovites in den Sandsteinen S. 17. — δ) Optische Eigenschaften der Biotite S. 17. — ϵ) Verwitterungsvorgang und die Verwitterungsprodukte der Biotite S. 18. — c) Verteilung der verschiedenen Glimmer in 4 Siebfractionen des unteren Buntsandsteins, Freden a. d. Leine, S. 19.	
2. Optische Untersuchungen der Sandsteine in Dünnschliffen	21
E. Röntgenographische Untersuchungen der sedimentierten Präparate mit Textur- und Guinier-Kamera	22
1. Herstellung der Präparate	22
2. Texturaufnahmen der Muskovite	23
a) Unterscheidung der verschiedenen Glimmerpolymorphen mit Hilfe der Texturaufnahmen S. 23. — b) Texturaufnahmen der zweiachsigen Muskovite (2M) S. 23. — c) Unterscheidung der einachsigen Muskovite von den zweiachsigen Muskoviten und von den gebleichten Biotiten durch Texturaufnahmen S. 27.	
3. Texturaufnahmen von Glimmern, die mit anderen Mineralen verwachsen sind	29
4. Texturaufnahmen der Biotite	29
5. Texturaufnahmen von Chloriten	31
F. Einkristall-Röntgenaufnahmen	33
I. Die Laue-Methode mit der Kegel-Kamera nach BRAITSCH	33
II. Einkristall-Aufnahmen mit der Weissenberg-Kamera	34

	Seite
1. Experimentelles	34
2. Ergebnisse	34
a) Einachsige Muskovite S. 34. — b) Zweiachsiger Biotit aus dem Virgental S. 35. — c) Einachsiger, gebleichter Biotit von Duderstadt S. 35. — d) Einachsiger, sehr stark verwitterter und gebleichter Biotit von Duderstadt S. 36. — e) Zweiachsiger Biotit mit langen nadelförmigen Einschlüssen S. 37.	
G. Diskussion der Ergebnisse mit Berücksichtigung der Unterschiede zwischen den frischen und den verwitterten Glimmern	37
1. Die Eigenschaften und die Verwitterung der Muskovite	44
a) Frische Muskovite S. 44. — b) Angewitterte Muskovite S. 44. — c) Stark verwitterte Muskovite S. 44.	
2. Die Eigenschaften und die Verwitterung der Biotite	46
a) Frische Biotite S. 43. — b) Angewitterte Biotite S. 46. — c) Verwitterte Biotite S. 46. — d) Stark verwitterte Biotite S. 46. — α) Nexö-Sandstein, Unterkambrium, Bornholm S. 46. — β) Sandiger Keupermergel, Risebaek, Bornholm S. 47. — γ) Unterer Buntsandstein, Freden a. d. Leine und Duderstadt S. 47. — δ) Mittlerer Buntsandstein, Karlshafen, Nörten-Hardenberg, Hann.-Münden, Volkmarshausen, Mariaspring, Reinhausen-Bremke bei Göttingen S. 47. — e) Bachsand aus dem Virgental, Hohe Tauern S. 47.	
Zusammenfassung	48
Literatur	49

Einleitung

Die vorliegende Arbeit ist eine Fortsetzung zahlreicher Untersuchungen von CORRENS, seinen Mitarbeitern und Schülern über die Verwitterung der Silikate. Die Glimmer aus Sandsteinen wurden optisch und röntgenographisch untersucht, um ihren Verwitterungszustand zu bestimmen.

Der Verwitterungsprozeß der Minerale ist von ihrer Struktur stark abhängig. Um die Verwitterung der Glimmer zu verfolgen, werden auf Grund der neuesten Literaturangaben über das Glimmergitter die durch die Verwitterung entstandenen Änderungen des Gitters in der vorliegenden Arbeit besprochen.

Durch die zahlreichen kristallographischen Untersuchungen der Glimmergitter einerseits und andererseits durch die neuen röntgenographischen Untersuchungen der Tonminerale, die meistens ein glimmerähnliches Gitter haben, entstehen folgende neue Probleme:

1. Welche Glimmer sind in den Sandsteinen vorhanden?
 2. Wie unterscheiden sie sich von den primären Glimmern und von den Neubildungen im Sediment?
 3. In welcher Beziehung stehen die Glimmer zu den Tonmineralien?
- Die Beantwortung dieser Fragen ist die Hauptaufgabe dieser Arbeit.

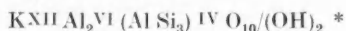
A. Zur Struktur und Polymorphie der Glimmer

1. Glimmerstruktur

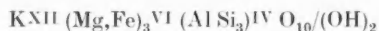
Glimmer sind die wichtigsten Vertreter der Phyllosilikate mit dem typischen Schichtgitter. Die Strukturen der Blattsilikate wurden von BRAGG³ beschrieben unter Angabe sämtlicher früheren Arbeiten. Das Muskovitgitter wurde von JACKSON und WEST^{37, 38} bestimmt. HENDRICKS und JEFFERSON³² untersuchten

röntgenographisch etwa 100 verschiedene Glimmer und bestätigten das Muskovitgitter von JACKSON und WEST. Unter den Biotiten fanden sie mehrere Strukturmodifikationen. STEVENS⁶¹ und kürzlich LEVINSON⁴³ untersuchten die Strukturen der Li-führenden Muskovite und Lepidolithe. Sie fanden gewisse Beziehungen zwischen der Struktur und der chemischen Zusammensetzung. Die Ergebnisse der ausführlichen Studien an einem Muskovit mit einem kleinen Achsenwinkel von AXELROD und GRIMALDI¹ und die neuen hydrothermalen Experimente von YODER und EUGSTER⁷³ haben gezeigt, daß auch die Muskovite in mehreren Modifikationen vorkommen können.

Dioctaëdrische Glimmer, Muskovite



unterscheiden sich von den trioktaëdrischen Glimmern, Biotiten



durch die Zahl der Atome in den Oktaederschichten. In den Muskoviten sind hier $\frac{2}{3}$ der Plätze von den dreiwertigen positiven Ionen besetzt. Bei den Biotiten sind in der Oktaederschicht alle ($\frac{3}{3}$) Plätze von zweiwertigen positiven Ionen besetzt. Jedoch enthalten die meisten Muskovite geringe Mengen von zweiwertigen und die Biotite von dreiwertigen Ionen. Infolgedessen kann die Zahl der Atome in Sechserkoordination geringfügig von 2 und 3 abweichen.

Der Muskovit besteht aus einem Pyrophyllitgitter in dem bis $\frac{1}{4}$ der Si^{4+} -Ionen durch Al^{3+} ersetzt sind. Der Biotit besteht dagegen aus einem Talkgitter, in dem bis $\frac{1}{4}$ der Si^{4+} -Ionen durch Al^{3+} ersetzt sind. Durch diese Substitution entstehen negative Ladungen in den Tetraederschichten. Durch den Einbau von K^+ -Ionen zwischen die Talk- bzw. Pyrophyllitschichtpakete tritt der Ladungsausgleich ein. Wird nur $\frac{1}{6}$ des Si in der Tetraederschicht der Muskovite durch Al ersetzt, so steigt der SiO_2 -Gehalt auf über 50%, außerdem wird die negative Ladung dieser Schichten kleiner. Durch diese geringe Substitution versuchen einige Verfasser z. B. GRIM²⁵, HEINRICH und Mitarbeiter²⁹ und YODER und EUGSTER⁷³ die niedrigeren Alkali- und höheren Si-Gehalte einiger Phengite zu erklären.

Die ionare Bindung zwischen den Schichtpaketen durch das K^+ ist schwächer als die Bindungen innerhalb der Schichtebenen. Dadurch wird die ausgezeichnete Spaltbarkeit der Glimmer nach (001) verursacht.

Durch verschiedene Lagerung der aufeinanderfolgenden Schichtpakete entstehen die von HENDRICKS und JEFFERSON³² beschriebenen Glimmermodifikationen, für die sie die Raumgruppen C_s^3 , C_{2h}^6 , D_3^3 , C_s^1 angeben. PABST⁵³ hat gezeigt, daß innerhalb der Fehlergrenzen die einschichtige, polymorphe Modifikation — nach HENDRICKS und JEFFERSON Raumgruppe C_s^3 — auch als C_{2h}^3 — $\text{C}_{2/m}$ beschrieben werden kann.

Die Anzahl der Schichtpakete in der Elementarzelle beträgt bei diesen Glimmermodifikationen 1—24. Die Lagen der Tetraeder-Sechseringe in den einzelnen Schichtpaketen, sowie die Lagen der aufeinanderfolgenden Schichtpakete in jeder einzelnen Glimmermodifikation sind ausführlich von JACKSON und WEST^{37, 38},

* Bei den Formeln der Glimmer bezeichnen die römischen Ziffern die Koordinationszahl der Atome.

HENDRICKS und JEFFERSON³² und SMITH und YODER⁶⁰ beschrieben und illustriert worden.

Folgende gekürzte Bezeichnung der Glimmermodifikationen wurde von YODER und EUGSTER gebraucht:

1M = einschichtige monokline Modifikation.

1Md = einschichtige monokline ungeordnete Modifikation.

2M = zweischichtige monokline Modifikation.

3T = dreischichtige Modifikation (Raumgruppe ist wahrscheinlich D_{3d}^3 , kann aber auch monoklin sein, vgl. AXELROD und GRIMALDI¹).

Nach DEKEYSER und AMELINCKX²⁰ und HENDRICKS³¹ läßt sich die Entstehung der Strukturvarianten durch ein schraubenförmiges Glimmerwachstum erklären.

Das Vorkommen von fehlgeordneten Schichtmineralen in der Natur ist sehr häufig. HENDRICKS und JEFFERSON³² beobachteten diffuse Reflexe auf den Weissenberg-Aufnahmen aller Biotitmodifikationen. Solche eindimensionalen Lagefehlordnungen haben JAGODZINSKI und LAVES⁴⁰ und JAGODZINSKI³⁹ (S. 300) ausführlich besprochen. Das fehlgeordnete Gitter von Biotit haben HENDRICKS³⁰ und HENDRICKS und TELLER³³ ausführlich erläutert.

Muskovite sind im allgemeinen besser geordnet als Biotite. Die hydrothermalen Experimente von YODER und EUGSTER^{72, 73} zur Herstellung von synthetischen Phlogopiten und Muskoviten haben darauf hingewiesen, daß der bei niedrigen Temperaturen ($< 400^\circ \text{C}$) gebildete Glimmer zur 1Md-Modifikation gehört. Mit steigender Temperatur ($> 400^\circ \text{C}$) bilden sich langsam 1M- und 3T-Phlogopite und 1M-Muskovite. Die 1M- und 1Md-Muskovitstrukturen wurden von YODER und EUGSTER⁷³ und LEVINSON⁴⁴ durch Vergleich ihrer Pulverdiagramme mit denen einschichtiger Lepidolithe bestimmt.

2. Tonmineralnamen mit in der Literatur ungeklärten Definitionen

Illit ist ein Sammelbegriff für feinkörnige Minerale in Tonen mit glimmerähnlichem Gitter. Die Bezeichnung „Illit“ wurde von GRIM und Mitarbeitern²³ vorgeschlagen.

Der Name „Hydromuskovit“ wurde von BRAMMALL und Mitarbeitern⁴ für einen Muskovit mit Alkaliunterschub von Ogofau gebraucht.

Da die Bezeichnungen „Illit“ und „Hydromuskovit“ in der Literatur vielfach nicht nach der Definition der namengebenden Verfasser angewendet werden, wird ihre Verwendung in der vorliegenden Arbeit vermieden oder sie werden im Sinne der zitierten Verfasser gebraucht.

Unter „Hydrobiotit“ verstehen WAGER⁶⁵ und WALKER⁶⁷ Verwitterungsprodukte von Biotit, die einen Übergang zu Vermiculit darstellen.

In der vorliegenden Arbeit soll der Begriff „Hydrobiotit“ im Sinne WAGERS und WALKERS verwendet werden.

3. Ungeklärte Probleme und Problemstellung

Die Angaben über Glimmer aus Tonen und Böden, sowie aus den magmatischen Gesteinen sind sehr umfangreich. Über den Verwitterungszustand der Glimmer in Sanden und in Sandsteinen weiß man nur sehr wenig.

Wie die Experimente von BÖHMEKE², MEHMEL⁴⁹ und anderen gezeigt haben, hängt die Geschwindigkeit des Glimmerabbaues von der Korngröße bzw. von der Größe der angreifbaren Oberfläche ab. Es ist nun die Frage, ob die grobkörnigen Glimmer in Sanden während der millionenjährigen Verwitterungsdauer auch zu ähnlichen Produkten wie die feinkörnigen umgewandelt werden können.

Durch die röntgenographischen Untersuchungen der Tone weiß man, daß das Gitter mancher Tonminerale dem Glimmergitter ähnlich ist, und daß einige Tonminerale durch Umbau des Glimmers entstehen können. Die Beobachtungen von YODER und EUGSTER⁷³ und von LEVINSON⁴⁴ zeigen, daß Illite ein fehlgeordnetes Muskovitgitter besitzen und in mehreren Polymorphen vorkommen. Das regt die folgenden Fragen an:

1. Kann das fehlgeordnete Glimmergitter durch die Verwitterung entstehen?
2. Ist der Verwitterungsprozeß bei den verschiedenen Glimmermodifikationen sowie bei den fehlgeordneten Glimmern derselbe?
3. Ändert sich das Biotitgitter, wenn das Eisen aus der Oktaederschicht abgeführt wird? (MEHMEL⁴⁹, konnte keine Änderungen mittels Pulveraufnahmen feststellen.)

HIRSCHI³⁴ und BUTLER¹³ weisen darauf hin, daß der Verwitterungsvorgang auch von der chemischen Zusammensetzung der Biotite abhängt. Darüber weiß man noch sehr wenig, weil das frische Muttergestein des Verwitterungsproduktes oft nicht mehr zugänglich ist. Auch über die Stabilität der primären, magmatischen Glimmer und sekundären Glimmer, die ein metamorphes, hydrothermales oder ein diagenetisches Umwandlungsprodukt anderer Minerale sind, hat man wenig genaue Angaben.

Man darf annehmen, daß es unter den Glimmern aus Sandsteinen alle Übergänge von frischen magmatischen bis zu abgebauten Glimmerblättchen gibt, deren Untersuchung ein umfangreiches Forschungsgebiet bietet. Manche von den oben erwähnten Problemen können in dieser Arbeit nicht geklärt werden, da man nicht weiß, aus welchen Muttergesteinen die Sandsteine entstanden sind. Ebenfalls weiß man nichts über den ursprünglichen Kristallisationszustand der Glimmer.

Die Aufgabe dieser Arbeit ist es zu bestimmen, wie weit die Verwitterung der Glimmer in den groben Sedimenten fortgeschritten ist. Um diese Frage zu beantworten, muß man zunächst feststellen, welche Glimmerarten in den Sandsteinen vorhanden sind, weil die optischen Eigenschaften der frischen Glimmer sowie die Gitter mehrerer Glimmermodifikationen verschieden sind.

Es werden folgende Fragen berücksichtigt:

1. Die Unterschiede der optischen Eigenschaften und der Gitter von verschiedenen frischen Glimmern.
2. Die Unterschiede zwischen den di- und trioktaedrischen Glimmern.
3. Verwachsungen von Glimmern mit anderen Mineralen.
4. Bestimmung der Verwitterungsprodukte.
5. Unterschiede zwischen den gebleichten Biotiten und den Muskoviten.
6. Verwitterungsvorgänge bei Muskoviten und Biotiten und ihre Abhängigkeit von der chemischen Zusammensetzung und von den Verwitterungsbedingungen.
7. Das Vorkommen von verschiedenen Glimmern in Sanden und Sandsteinen.

B. Angewandte Methoden

I. Mikroskopische Untersuchungen

Die optischen Eigenschaften der Glimmer wurden in Streupräparaten und in Dünnschliffen mit Hilfe des Polarisationsmikroskopes bestimmt.

II. Röntgenographische Untersuchungen

Strukturuntersuchungen an Glimmern und ihren Verwitterungsprodukten wurden mit Hilfe der Textur- und Einkristall-Röntgenaufnahmen durchgeführt. Es wurden folgende Röntgenmethoden angewandt:

1. Texturaufnahmen mit der Guinierkamera nach v. WOLFF⁷⁰ und mit der Texturkamera (114,6 mm \varnothing) nach JASMUND⁴¹. CuK α -Strahlung, Ni-Folie.

2. Laue-Aufnahmen mit der Kegelkamera nach BRAITSCH⁵. CuK α -Strahlung. (Weiße Strahlung.)

3. Drehaufnahmen um (100) und (010). Kameradurchmesser = 57,3 mm. CoK α -Strahlung, Fe-Folie.

4. Schwenk- und Weissenberg-Aufnahmen um (100). Kameradurchmesser = 56,85 mm, mit CuK α -Strahlung, Ni-Folie.

III. Halbquantitative Spektralanalysen

Zur Bestätigung der optischen und röntgenographischen Ergebnisse ist eine halbquantitative Spektralanalyse sehr nützlich. Mit dieser Methode ist es möglich, Muskovit von den Phlogopiten und von den gebleichten Biotiten sowie Mg-reiche trioktaedrische Minerale von den Fe-reichen Mineralen zu unterscheiden.

Es wurde versucht, die Hauptgemengteile der einzelnen Glimmerblättchen mit Hilfe der Spektralanalyse zu bestimmen. Die größten Glimmerblättchen wiegen nur 0,05 mg. Die erforderliche Empfindlichkeit konnte durch folgendes Verfahren erreicht werden:

Spektrograph: Hilger-Quarzspektrograph (für ultravioletten Bereich), Uviolglas-Spektrograph (für Bereich 3927—6191 Å).

Anregung: 220 V Gleichstrom, 6 Amp., Elektroden-Abstand 10 mm.

Belichtungszeit: 45—60 sec (bis die Probe völlig verdampfte).

Elektroden: Gereinigte Kohlenelektroden, 4 mm \varnothing . Anode mit abgerundeter Spitze, Kathode: Hals 2 mm \varnothing , mit einer Bohrung 1 mm \varnothing , 2 mm tief.

Probe: Ein Glimmerblättchen, etwa 0,05 mg.

Plattenkalibrierung: Eisenbogen 3 Amp. 240 sec, 8-Stufensektor.

Die Spektrallinien wurden photometriert und das Intensitätsverhältnis von Linie zu Untergrund berechnet.

Zum Vergleich wurden die Spektren von einem chemisch analysierten Muskovit und Biotit (vgl. folgende Tabelle) auf denselben Platten abgebildet.

	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MgO	CaO	TiO ₂	K ₂ O	Na ₂ O	H ₂ O
Biotit Nr. 10 . .	32,8	14,0	23,5	7,5	5,7	—	1 97	9,6	—	4,7
Muskovit (BÖHMEKE) .	44,7	36,2	1,3	—	0,3	0,3	0,3	11,5	0,4	4,4

IV. Differentialthermoanalysen

Die Differentialthermoanalysen von drei Proben wurden mit dem Instrument nach LIPPMANN⁴⁵, unter Erhitzen bis auf 1000° C, durchgeführt. Die DTA-

Kurve von Muskovit aus dem Buntsandstein, S_m , wurde mit den DTA-Kurven von Hydromuskovit (Zersetzungsprodukt von pegmatitischem Feldspat) und mit dem feinkörnigen Zersetzungsprodukt aus dem Nexö-Sandstein, Bornholm, verglichen.

C. Das Untersuchungsmaterial

I. Proben

In der vorliegenden Arbeit wurden die Glimmer aus den folgenden Sandsteinen und Sanden untersucht:

1. *Nexö-Sandstein*, Unterkambrium, Steinbruch Frederiks an der Ostküste der Insel Bornholm. Muskovitreiche Lagen an den Schichtflächen.

2. *Glimmerreiche, sandige Lagen im Rhät-Mergel, Risebaek*, Südküste der Insel Bornholm. Die Proben 1 und 2 wurden während der Exkursion des Mineralogisch-Petrographischen Institutes der Universität Göttingen, 1956, entnommen.

3. *Buntsandstein, S_u* , etwa 1 km nördlich Groß-Freden a. d. Leine; Glimmeranreicherungen am Berghang.

4. *Buntsandstein, S_m* , Nörten-Hardenberg, unterhalb der alten Burg Hardenberg. Die glimmerreichen, gebleichten Lagen im mittleren Buntsandstein, z. T. überdeckt mit tonigem Boden.

5. *Buntsandstein, S_m* , Volkmarshausen, Berghang an der Tunneleinfahrt.

6. *Buntsandstein, S_m* , Hannoversch-Münden, am Nordbahnhof.

Proben aus der Sammlung des Sedimentpetrographischen Institutes der Universität Göttingen:

1. *Buntsandstein, S_u* , Duderstadt, Glimmerkonzentrat (leg. Dr. MÖLLER).

2. *Buntsandstein, S_m* , Mariaspring bei Göttingen (leg. Prof. LIEBISCH 1898).

3. *Buntsandstein, S_m* , Karlshafen, Solling-Platten (leg. Prof. Dr. C. W. CORRENS).

4. *Buntsandstein, S_m* , Muskovit aus dem Buntsandstein zwischen Reinhausen-Bremke (leg. Dr. S. KORITNIG).

5. *Glimmerreicher Bachsand aus dem Virgental*, Hohe Tauern, etwas unterhalb Hinterbichl (leg. Prof. Dr. C. W. CORRENS).

6. *Hydromuskovit*, Hüttenberger Erzberg, Kärnten. Zersetzungsprodukt von pegmatitischem Feldspat (leg. Dr. H. MELXNER 1951), Probe Nr. 852.

7. *Hydrobiotit*, Probe Nr. 802.

8. „*Biotit*“, Magnet Cove, Probe Nr. 25796 (leg. Dr. F. LIPPMANN).

II. Verteilung der Glimmer in den Sandsteinen und ihre Trennung von anderen Mineralien

Man kann 3 Arten der Glimmerverteilung in Sandsteinen unterscheiden:

1. Dünne Lagen zwischen den mächtigen Sandsteinbänken, oder als Oberfläche einer Schicht, besonders häufig bei den Solling-Platten.

2. Als Gemengteil im Gestein selbst in unregelmäßiger Anordnung.

3. Als dünner Überzug bei tonhaltigen Sandsteinpartien.

Es wurden die Glimmer der in Gruppe 1 genannten Art ausführlicher untersucht als die Glimmer der anderen Gruppen.

Die Sandsteine mit hartem Zement wurden zuerst im Diamantmörser zerschlagen, dann im Holzmörser weiter aufbereitet. In den untersuchten Proben

ist das Verhältnis der Durchmesser von größten Glimmerblättchen, zu Quarz ungefähr 4:1, darum ist in den Siebfractionen 0,5 mm und 0,5—0,25 mm (Maschenweite) fast reiner Glimmer angereichert. Die weitere Trennung erfolgte durch folgende Verfahren:

1. Durch Schütteln auf einer geneigten Glasplatte, wobei die Glimmerblättchen liegen blieben und die anderen Minerale herunterrollten (vgl. HIRSCH³⁴).

2. Durch eine rotierende Bewegung des mit Wasser und mit dem gesiebten Sandstein gefüllten Uhrgläschens. Dabei trennen sich die schwebenden Glimmerblättchen von den übrigen runden Körnern, so daß sie leicht auf andere Uhrgläschen gebracht werden können.

D. Optische Untersuchungen

I. Methodisches

Angereicherte Glimmerblättchen wurden mit Hilfe des Binokulars der Farbe nach getrennt. Ein Teil aus jeder Gruppe wurde in Kanadabalsam eingebettet. Die mikroskopische Untersuchung der Streupräparate zeigte, daß sich die Glimmerblättchen innerhalb der Farbengruppen durch Lichtbrechung und andere optische Eigenschaften, unterschieden.

a) Die Lichtbrechung wurde von jedem einzelnen Glimmerblättchen mit Hilfe der Einbettungsmethode bestimmt. Einbettungsmittel: Mischungen von Nelkenöl ($n = 1,527$) und α -Monobrom-Naphthalin ($n = 1,6578$). Weißes Licht. Der Schwankungsbereich der Lichtbrechung (n_p) für Muskovite geht von 1,535 bis 1,605 und für Biotite von 1,575—1,655. Die Lichtbrechung der Einbettungsöle wurde im Totalrefraktometer geprüft. Zur Bestimmung der hochlichtbrechenden Einschlüsse wurde Phenyl-dijodarsen ($n = 1,84$) verwendet.

Die Genauigkeit dieser Lichtbrechungsbestimmungen ist auf $n \pm 0,005$ beschränkt, weil an dieser Grenze die Beckesche Linie wegen der (001) Aufblätterung des Glimmerblättchens doppelt erscheint.

Tabelle 1a. Optische Eigenschaften der Muskovite

Farbe: Farbmeßtafel nach OSTWALD	Blättchenzahl						Summe
	2 V = 0	0—10°	10—20°	20—30°	30—40°	40—50°	
1. II ec 1	1		1	3	1	1	5
1. II ec 2	2		1	8	1	1	4
1. II ec 3	2	1	1	1	1	1	13
grau „a“							2
1. II ec 1			2	2	3	1	8
1. II ca 1				5	2	2	13
1. II ca 2	1		1	6	3	3	10
1. II ca 3					2		2
1. II ca 4							
Summe	6	1	5	24	12	7	57
Lichtbrechung: $n = 1,575-1,580$	1,580—1,585	1,585—1,590	1,590—1,595				
Blättchenzahl	10	30	16	2			

Tabelle 1b. Optische Eigenschaften der braunen Biotite

Farbe: Farbmettelfel nach OSTWALD „gelb-kress“	Blättchenzahl							Summe
	n_β <1,59	n_β 1,59—1,60	n_β 1,60—1,61	n_β 1,61—1,62	n_β 1,62—1,63	n_β 1,63—1,64	n_β 1,64—1,65	
1. IV gc 1		1						1
1.1. IV ic 1				6 2 V = $\begin{cases} 11^\circ (1) \\ 7^\circ (1) \end{cases}$				6
1. VI ge 1	2							2
1. VI ie 1		2 2 V = 4° (1) L = (1)	2	2	3 C = (2)	4 H = (1) C = (1)	2	15
1. VI le 1		1		6 2 V = $\begin{cases} 16^\circ (1) \\ 6^\circ (1) \\ 2^\circ (1) \end{cases}$	6 C = (2)	3 2 V = 16° (1) H = (2) C = (1)		16
1. VI pe 1		1 L = (1)	1	2				4
1. VIII lg 1	1			4	3	1 C = (1) H = (1)		9
1. VIII ng 1				1	7 2 V = 7° (1) C = (3)	1 C = (1) H = (1)	2	11
1. VIII pg 1					6	1	1	9
1. IV gc 2		1 L = (1)						1
1. IV ic 2	1 L = (1)	1 L = (1)		3 H = (1)	2			7
1. IV nc 2				1		1		2
1. VI ge 2			1	2				3
1. VI ne 2		1 2 V = 4° (1)	1	1	3 C = (1)	3 H = (1)		8
1. VI le 2				3 H = (1)	2 H = (1)		1 H = (1)	6
1. VI pe 2					1	3		4
1. VIII ng 2				3 C = (1)	4 H = (3) C = (1)	4 H = (1)		11
1. VIII pg 2						3		3
Summe	4	7	5	35	37	24	6	118

Erklärung zu den Tabellen 1b—d. Die meisten Biotite sind einachsig. Die pleochroitischen Höfe sind zweiachsig (markiert „H“). Achsenwinkel (2V) in Grad und Zahl der zweiachsigen Glimmerblättchen (in Klammer) eingetragen. Ag = feinkörnige Aggregate (Epidot); L = lange, faserige oder nadelförmige Einschlüsse; C = Carbonate; Sp = Spaltrisse senkrecht zu (001). (Eisenoxyde und Hydroxyde sind nicht markiert.)

Tabelle 1c. *Optische Eigenschaften der braunen und braun-grünen Glimmer*

Farbe: Farbmessstafel nach OSTWALD „gelb-kress“	Blättchenzahl							Summe
	n_β < 1,59	n_β 1,59—1,60	n_β 1,60—1,61	n_β 1,61—1,62	n_β 1,62—1,63	n_β 1,63—1,64	n_β > 1,64	
I. II ga 1	1	1						2
I. II pa 1			1 Ag = (1)					1
I. II na 2				1				1
I. II la 3			1	1 C = (1)				2
I. II na 3					2 H = (2)	2 H = (2)		4
I. II pa 3					2 2 V = 16° (1 H)		1 H = (1)	3
I. II ia 3		1	1	2 H = (1) C = (1)	2 H = (1)			6
I. IV lc 3				1	1			2
I. IV nc 3				4	3	5 H = (1)		12
I. IV pc 3		1	1		3	7		12
I. I. VI le 3				3 C = (3)	2			5
I. I. VI ne 3				4 2 V = 4° (1) C = (2)	5 H = (2)	2		11
I. VI pe 3					8 2 V = 18° (1)	4		12
I. VIII ng 3				2			1	3
I. I. VIII lg 3							1	1
I. I. I. II pa 4				1		4		5
I. I. IV pc 4		1		1 H = (1)	7 2 V = 16° (2) C = (1)	10 2 V = 16° (1) C = (1)		19
I. VI ne 4				2 2 V = 7° (1)	2 2 V = 7° (1)	3 Sp = (1)		7
I. VIII pg 4					1			1
Summe	1	4	4	22	38	37	3	109

Tabelle 1d. Optische Eigenschaften der grünen Biotite

Farbe: Farbmeßtafel nach Ostwald „seegrün- laubgrün“	Blättchenzahl								Summe
	n_β < 1,59	n_β 1,59—1,60	n_β 1,60—1,61	n_β 1,61—1,62	n_β 1,62—1,63	n_β 1,63—1,64	n_β 1,64—1,65	n_β > 1,65	
4. IV ec 20	1 L = (1)							1	
4. VI ie 20		1						1	
3. II ea 18		1						1	
4. VI ge 21	2 L = (2)	3 L = (1)	1					6	
4. IV ec 22		4 2 V = 14° (1) L = (3) Ag = (2)	1					5	
4. IV ic 22				2	2 Sp = (1)			5	
4. IV gc 22		5 2 V = 5° (1) Ag = (2)		2 2 V = 2° (1)	2 Ag = (1)	3 H = (1) C = (1)	1	13	
4. VI ge 22		1				1		2	
4. IV ec 23	1	5 2 V = 5° (1)			4 Ag = (1)			10	
4. VI ge 23		1			1 2 V = 9° (1)		1	3	
4. VI ie 23			1		1	2		4	
4. VI pe 23					5 2 V = (2) C = (1)			5	
4. VIII lg 23					4			4	
4. VIII ng 23				1 H = (1)	2 H = (1)			3	
4. II ea 24					1 2 V = 4°			1	
4. IV ec 24		2 V = { 16° (1) 5° (1)				1		5	
4. IV ic 24						1		1	
4. VI ge 24		1			3 2 V = 9° (1)			4	
4. VI pe 24					1			1	
5. VIII ig 24							2 H = (1)	2	
4. VIII lg 24				2	5 C = (2)	1		8	
4. X ni 24				1	1	2	1	5	
Summe	4	26	3	8	32	11	2	15	90

b) **Die Doppelbrechung.** Der Gangunterschied wurde mit Hilfe des Drehkompensators an den geneigten Glimmerblättchen bestimmt, der Neigungswinkel und die Dicke der Glimmerblättchen im Drehtisch gemessen und die maximale Doppelbrechung aus der Kurve nach SCHUMANN⁵⁸ ermittelt.

c) **Die Farbe.** Die Farbe der Glimmerblättchen wurde im durchfallenden und im auffallenden Licht sowie bei gekreuzten Nicols beobachtet und mit den Farben der kleinen Farbmeßtafel nach OSTWALD⁵² verglichen. Die entsprechende Farbennummer wird in den zusammenfassenden Tabellen 1a—d der optischen Eigenschaften angegeben.

d) **Der Achsenwinkel** wurde im Polarisationsmikroskop durch Einschalten der Bertrandischen Linse (Objektiv-Vergrößerung 42-fach, Mikrometerokular-Vergrößerung 9-fach) und mit Hilfe der Mallardschen Konstanten bestimmt und ausgerechnet.

Nach Ermittlung der Lichtbrechung der einzelnen Blättchen, folgte die Untersuchung der Glimmer in den Streupräparaten. Es wurden bestimmt:

- | | |
|-----------------------------|------------------|
| 1. Umriss und Spaltbarkeit. | 3. Einschlüsse. |
| 2. Farbe. | 4. Achsenwinkel. |

II. Die Ergebnisse der optischen Untersuchungen

1. Untersuchung der Streupräparate in Kanadabalsam

Die Ergebnisse der optischen Untersuchungen von Glimmern aus dem Buntsandstein, S_w , Freden, sind in den Tabellen 1a—d zusammengefaßt mit folgenden Angaben:

1. Spaltbarkeit senkrecht zu (001).
2. Farbe nach OSTWALD.
3. Lichtbrechung.
4. Achsenwinkel.
5. Einschlüsse.

a) **Umriss und Spaltbarkeit.** Die Muskovite sind abgerundete oder scharfkantige sechseckige Blättchen, seltener unregelmäßige Bruchstücke. Der Rand der Glimmerblättchen ist sehr verschieden:

1. Glatt und von der gleichen Dicke wie das ganze Blättchen.
2. Aufgeblättert, dadurch erscheint er dicker als das Blättchen.
3. Dünn, sägenartig oder zinnenartig ausgebrochen.
4. Eingebuchtet, oder unregelmäßig aufgelöst (nur in einigen Biotiten).

Einige Muskovite und Biotite sind von parallelen Spaltrissen durchzogen, die parallel zu (010), (110), senkrecht zur Hauptspaltbarkeit (001) verlaufen. In einem Muskovitblättchen bilden die Richtungen dieser Spaltbarkeiten (Sp.) folgende Winkel mit der Achsenebenenspur (AE):

1. AE Sp. I $188-231^\circ = -43^\circ$.
2. AE Sp. II $188-141^\circ = 47^\circ$.
3. AE Sp. III $188-171^\circ = 17^\circ$.
4. AE Sp. IV $188-111^\circ = 77^\circ$.
5. AE Sp. V $188-201^\circ = -13^\circ$.
6. AE Sp. VI $188-261^\circ = -73^\circ$.

Diese Spaltrisse bilden miteinander Winkel von etwa 90° , 60° und 30° . Sie schneiden sich nicht in einem Punkt, weil sie in verschiedenen Ebenen auftreten.

Abweichungen in den Spaltrichtungen in anderen Blättchen betragen bis etwa 10° von den angegebenen Richtungen. Sie entstehen wahrscheinlich durch Verbiegung der Blättchen. Ein Netz von den oben beschriebenen Spaltrissen bildet sich bei der Zerkleinerung der Glimmer durch starkes Drücken und Schlagen im Achatmörser. Diese Spaltrisse entsprechen den in der Literatur bei MÜGGE-ROSENBUSCH⁵¹ beschriebenen Druck- und Schlagfiguren. Nach WÜLFING-ROSENBUSCH⁷¹, Platte XV, können sie durch Gesteinsdruck entstehen.

Ähnliche Spaltrisse wurden von SCHUMANN⁵⁷, MEHMEL⁴⁹ u. a. beobachtet. Sie dürften von der Verwitterung hervorgerufen worden sein.

Fast alle Glimmerblättchen in den untersuchten Sandsteinen sind verbogen und von unregelmäßigen Spaltrissen durchzogen. Durch diese Verbiegungen und Spaltrisse entstehen die stabförmigen Reflexe auf den Einkristallröntgenaufnahmen. Die Spaltbarkeit ist sehr wichtig für die Verwitterung der Glimmer, da durch die geöffneten Spaltrisse die Zirkulation des Wassers und damit der Abtransport von Ionen ermöglicht wird.

Die Spaltrisse lassen sich besonders gut erkennen, wenn sie mit Einschlüssen gefüllt sind oder nach dem Erhitzen verglasen. Die Muskovitblättchen aus dem mittleren Bundsandstein zeigen nach dem Erhitzen auf 1000°C im DTA-Verfahren deutlich dünne verglaste Gebiete, zwischen den (001)-Spaltrissen und ebenso wabenartige Verglasungen, die den Lagen der oben beschriebenen Spaltbarkeit entsprechen. Es bilden sich zwei Arten von Gläsern, mit $n = 1,515$ und mit $n = 1,480$. Die Lichtbrechung entspricht den natürlichen Gläsern: den Rhyolith-Gläsern ($n = 1,48\text{--}1,52$) und dem Orthoklas-Glas ($n = 1,485$), nach TILLEY⁶² und WAHLSTROM⁶⁶. Nach GRIM und BRADLEY²⁴ beginnt die Bildung der alkalihaltigen Kieselgläser aus den Illiten unter 1000°C . Daraus folgt, daß in den Spaltrissen die Alkalien und die Kieselsäure angereichert waren, die nach dem Erhitzen zu Glas geschmolzen sind. Die zwischen den verglasten Spaltrissen liegenden Muskovitteile (etwa $20\ \mu$ Ø) sind noch doppelbrechend und zweiachsig, mit $n_\beta = 1,535$. RINNE⁵⁵ beobachtete nach dreistündigem Erhitzen auf 1000°C im Muskovit eine Verkleinerung des Achsenwinkels von $2E = 65^\circ 20'$ auf 0° . Die Glimmerstruktur wurde dabei nicht zerstört. Die Erhitzung auf 1000°C im DTA-Verfahren dauerte nur etwa 10 min. Diese Zeit war wahrscheinlich zu kurz für die Verkleinerung des Achsenwinkels auf 0° .

b) Ergänzung der optischen Tabellen 1a—d. Die Farbe der Glimmer ist von dem Gehalt an färbenden Ionen, Fe^{++} , Fe^{+++} , Mn^{+++} und Ti^{++++} bedingt sowie von den Verhältnissen dieser zueinander.

Die farblosen oder sehr hellen Glimmer sind die *Muskovite* (Tabelle 1a). Nach HEINRICH und Mitarbeitern²⁹ sind die zarten, rosa Farbtöne durch Spuren von Mn und Fe, die grünlichen durch Fe^{++} entstanden. Völlig gebleichte Biotite wurden in den untersuchten Sandsteinen nicht beobachtet. Einige Biotite sind entlang den Spaltrissen und an den Rändern der Blättchen fast entfärbt, wodurch sie sich von den regelmäßig „farblosen“ Muskoviten unterscheiden. Der zweite Unterschied zwischen den Muskoviten und den entfärbten Biotiten ist die Doppelbrechung. Die entfärbten Ränder der Biotite zeigen eine sehr niedrige Doppelbrechung (um 0,005), die Doppelbrechung der Muskovite beträgt über 0,02—0,05.

Die Lichtbrechung (n_β) der meisten Muskovite aus den Buntsandsteinen ist 1,584. Einige Muskovite (die abgeblättern) haben $n_\beta = 1,575$. Nur ein Muskovitblättchen von vielen Tausenden zeigte am Rande $n_\beta = 1,535$. Die Lichtbrechung der Muskovite aus dem Virgental ist etwas höher ($n_\beta = 1,590-1,605$).

Die Muskovite lassen sich nach den Interferenzfiguren in folgende Gruppen einteilen:

1. Einachsige Muskovite, die ein dreischichtiges Muskovitgitter haben (vgl. röntgenographischen Teil).

2. Zweiachsige Muskovite mit deutlichen Achsenfiguren (normale, zweischichtige Muskovite).

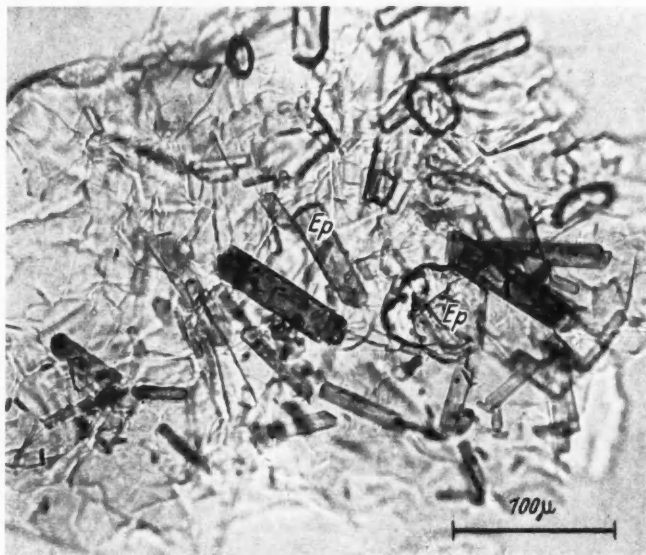


Abb. 1. Muskovitblättchen (Virgental) mit pleochroitischen Epidot-Einschlüssen (Ep)

3. Zweiachsige Muskovite mit verwachsenen und verbreiterten Achsenfiguren, die durch Abblättern sowie durch Divergenz der Achsenebenenrichtungen in den übereinandergelagerten Muskovitblättchen entstanden sind (vgl. BRAITSCH⁵, S. 334).

4. Deformierte zweiachsige Interferenzfiguren, die durch schuppige Struktur des Muskovitblättchens entstehen und in den Muskoviten des Virgentals vorkommen.

Die Größe des Achsenwinkels der Muskovite und der Phengite hängt von dem Gehalt an zweiwertigen Ionen in der Oktaederschicht ab. WINCHELL⁶⁹ zeigte die Beziehung zwischen der Achsenwinkelgröße und den Mg- und Fe-Gehalten. HEINRICH und Mitarbeiter²⁹ fanden dagegen, daß einachsige und zweiachsige Muskovite fast die gleiche chemische Zusammensetzung haben können. Aus den Ergebnissen der halbquantitativen Spektralanalyse geht hervor, daß die einachsigen Muskovite zwischen 1 und 2% MgO und weniger als 2% (FeO + Fe₂O₃) enthalten.

α) Die Ein- und Auflagerungen. In den Muskoviten wurden 3 Arten hiervon beobachtet:

1. Die primären Einschlüsse: Zirkon, Apatit, Rutil und Quarz.
2. Die sekundären Verwachsungen mit Quarz und Eisenoxyden, die zwischen den 001-Spaltrissen eingedrungen sind.
3. Die mit Eisenoxyden und Hydroxyden bedeckten Blättchen.

Die Muskovite aus dem Virgental unterscheiden sich von den Muskoviten aus dem Buntsandstein durch zahlreiche Einschlüsse von Rutil, Epidot und seltener von Turmalin (Abb. 1).

Die Muskovite mit deutlichen Spaltrissen nach (001) kommen sehr häufig in den gebleichten Zonen des mittleren Buntsandsteins vor (Mariaspring, Burg Hardenberg, Volkmarshausen u.a.). Diese Spaltrisse sind oft verquarzt oder mit FeOOH gefüllt.

Die eisenhaltigen Auflagerungen an der Muskovitoberfläche sind sehr häufig in den Muskoviten aus den glimmerreichen Zwischenlagen der roten, ungebleichten Buntsandsteine.

Die Ausflockung des dreiwertigen Eisens in den Spaltrissen und auf der Muskovitoberfläche läßt sich durch relativ starke Alkalikonzentration auf der Glimmoberfläche erklären. Die Muskovite aus den Sandsteinen sind von regelmäßigen und unregelmäßigen Spaltrissen durchzogen, die mit alkalischen Lösungen gefüllt sind, worauf bereits bei der Verglasung der Spaltrisse beim Erhitzen auf 1000°C hingewiesen wurde. Eisen wandert in kolloidaler Form als FeOOH im sauerstoffreichen Wasser und flockt auf der alkalischen Muskovitoberfläche aus, da Fe^{3+} im sauren pH -Bereich löslicher ist als im alkalischen.

Die mit eisenhaltigen Mineralen bedeckten Muskovitblättchen findet man sehr häufig in den roten Buntsandsteinböden und in den glimmerreichen Lagen der Solling-Platten.

Auf der Oberfläche einiger Muskovite waren blutrote fünf- und sechseckige Blättchen von Rubinglimmer zu beobachten, die konzentrisch um einen Quarzkern gewachsen waren. Mit zunehmender Alkalität auf der Muskovitoberfläche gehen die Quarzeinschlüsse in Lösung und werden von den eisenhaltigen Auflagerungen verdrängt. Die eisenhaltigen Auflagerungen an der Glimmoberfläche sind durch den leichten Wechsel des Oxydationszustandes des Eisens relativ instabil. Die Rubinglimmerblättchen lösen sich leicht auf. Man beobachtet oft skelettartige Reste. Dabei wird Eisen entweder abgeführt oder es bilden sich durch die Reaktion mit dem Glimmerblättchen Chloriteinschlüsse oder dünne, gelbe Krusten, die aus Chlorit und Eisenoxyd bestehen.

Abb. 2 zeigt feinblättrige, sphärolithische Chloritaggregate, die sich auf der Muskovitoberfläche gebildet haben. (Muskovit aus dem Buntsandstein bei Burg Hardenberg.) Diese Chloritblättchen sind wahrscheinlich im Sediment

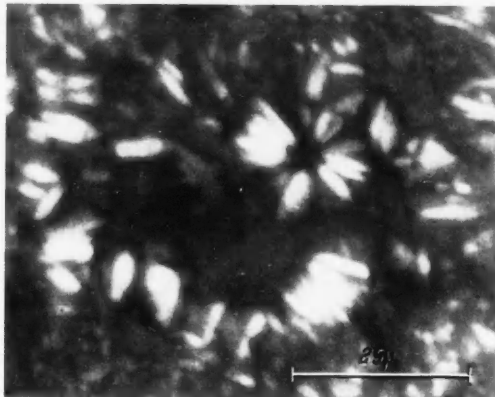


Abb. 2. Ein Muskovitblättchen (Buntsandstein) mit sphärolithischen Chloritaggregaten. Die Chloritblättchen sind schwach doppelbrechend. Sie stehen auf der Kante

entstanden, da die feinschuppigen Chloritblättchen in der sphärolithischen Anordnung den Transport nicht überstehen würden.

Ein stark abgebautes Glimmerblättchen erscheint am Rande isotrop und ist von wurmförmigen Kaolinitaggregaten bedeckt. Ob der Kaolinit durch die Verwitterung des Muskovites entstanden ist, läßt sich nicht mit Sicherheit entscheiden, weil nur ein einzelnes Blättchen beobachtet wurde.

Ausführliche Angaben über das Verhalten des Eisens und der Kieselsäure in Sedimenten sind von CORRENS^{17, 18} und HARDER^{26, 27} gemacht worden.

Eine besonders interessante Gruppe bilden die Muskovite mit Biotitauflagerungen. Die Biotitblättchen oder kleine Bruchstücke davon sind auf den

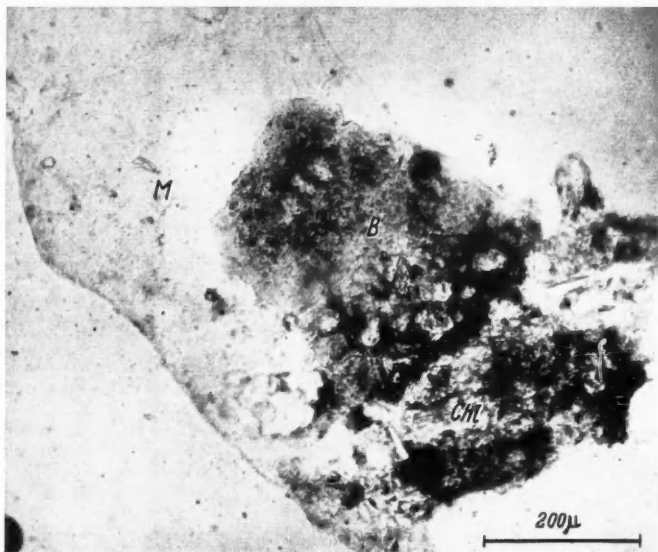


Abb. 3. Muskovit (*M*) mit grünem Biotit (*B*) aus dem Buntsandstein, *S_m*, randlich in Chlorit umgewandelt. Der Chlorit (*Chl*) entsteht durch Zersetzung von Biotit und Muskovit. Muskovit zerfällt in kleine Bruchstücke.

Muskovitblättchen mit Eisenoxyd verkittet. Diese zusammengeklebten Muskovite und Biotite sind in verschiedenen Verwitterungszuständen vorhanden:

1. Beide frisch.
2. Muskovit frisch, Biotit verwittert.
3. Muskovit und Biotit verwittern zu faserigem Chlorit.

Abb. 3 zeigt ein großes Muskovitblättchen mit aufgelagertem Biotit. Am Rande ist dieses zusammengeklebte Blättchen teilweise in faserigem Chlorit umgewandelt. Der Muskovit zerfällt um die Zersetzungsstelle in kleine Bruchstücke. Der Chlorit bildet sich hier wahrscheinlich aus Glimmer.

β) *Verwachsungen* von einachsigen und zweiachsigen Muskovit, sowie von Biotit und Muskovit sind in der Literatur beschrieben (HEINRICH und Mitarbeiter²⁹). Die Muskovit-Biotit-Verwachsungen wurden in den Glimmern der Buntsandsteine beobachtet. Eine parallele Verwachsung nach (001) von einachsigen Muskovit zwischen zweiachsigen Muskovit wurde in den Glimmern aus dem Virgental gefunden. Der einachsige Teil wurde mit Hilfe der Weissenberg-

Aufnahme als eine dreischichtige Muskovitmodifikation bestimmt. Muskovit-Chlorit-Verwachsungen sind schon vor der Sedimentation gebildet und stammen aus den metamorphen Schiefern der Hohen Tauern. Paragonit-Muskovit-Verwachsungen kommen ebenfalls in den Sanden vom Virgental vor.

γ) Über das Vorkommen des Muskovites in den Sandsteinen. Muskovit ist der häufigste Glimmer in den glimmerreichen Lagen des Buntsandsteins. Diese Lagen bestehen in den Solling-Platten bis zu 99% aus Muskovit, bei Mariaspring und Volkmarshausen bis zu etwa 80% aus Muskovit mit untergeordneten Gehalten an Biotit, der meistens als ein „Einschluß“ zwischen den Muskoviten vor der Verwitterung und dem Zerfall geschützt wird.

Die glimmerreichen Lagen im mittleren Buntsandstein sind wahrscheinlich durch Zusammenschwemmung des aus den Sedimenten ausgewaschenen Glimmers entstanden. Der widerstandsfähige Muskovit konnte unzerstört verfrachtet und umgelagert werden. Der relativ instabile, bereits angewitterte, zerbrechliche Biotit zerfällt beim Transport in kleinere Bruchstücke und verwittert zu anderen Mineralen. Durch eine hohe Widerstandsfähigkeit gegen die Verwitterung können die Muskovite vielfach umgelagert werden. Dabei werden sie immer dünner [Spaltrisse nach (001)!], der Durchmesser des Blättchens ändert sich aber kaum. Dadurch lassen sich relativ große Anreicherungen von grobem Muskovit gegenüber Biotit in den umgelagerten Sandsteinen erklären.

Die Anreicherung des Muskovites an den Schichtflächen des Sandsteines kann durch Herausschwemmung des feinen, tonigen Materials und des verwitterten Biotites entstehen.

δ) Optische Eigenschaften der Biotite.

Tabelle 1b = braune Biotite,

Tabelle 1c = braune und braun-grüne Biotite,

Tabelle 1d = grüne Biotite.

Die Biotite wurden nach Farbe, Lichtbrechung und Verwitterungszustand in folgende Gruppen eingeteilt:

1. Frische Biotite mit lebhaften braunen und dunkelgrünen Farben, mit hoher Lichtbrechung (1,63—1,65) und hoher Doppelbrechung (0,04—0,05). Sie haben relativ wenig Einschlüsse und sind den optischen Eigenschaften nach Fe-reiche Biotite, (Lepidomelane).

2. Frische Biotite, hellgrün, braun-grün und hellbraun mit einzelnen Einschlüssen oder einschlußfrei. Die Lichtbrechung dieser Biotite liegt zwischen 1,61—1,63, die Doppelbrechung um 0,03—0,04. Es sind Mg-Fe-Biotite, Merokhene.

3. Dunkle Biotite, die im durchfallenden Licht trüb bis opak erscheinen und im auffallenden Licht rotbraunen Metallglanz haben. Sie sind meist zweiachsig und von feinkörnigen Eisenoxiden getrübt. Diese Biotite sind die Lepidomelane in den ersten Verwitterungsstadien.

4. Grünliche mit Eisenoxiden bedeckte Biotite, mit einer Lichtbrechung < 1,62 und mit deutlich niedriger Doppelbrechung (0,02—0,005). Dies sind die Biotite, bei denen das Eisen z. T. abtransportiert worden ist und an der Oberfläche ausgeschieden wurde. Sie zeigen verwaschene und breite einachsige oder zweiachsige Interferenzfiguren.

Der Schwankungsbereich der Lichtbrechung (n_β) der braunen, braun-grünen und grünen Biotite aus dem unteren Buntsandstein, Freden, ist schematisch in

Abb. 4 dargestellt. Auf der Ordinate sind die Prozentgehalte der Glimmer, auf der Abszisse ist die Lichtbrechung eingetragen. Darunter ist der Lichtbrechungsbereich der Lepidomelane und Meroxene, nach BURCKHARDT¹² eingezeichnet. Die Lichtbrechungskurven der Biotite zeigen zwei Maxima: ein Maximum im Bereiche der frischen Biotite, und das zweite, welches deutlich niedriger als die Lichtbrechung der frischen Biotite ist, liegt um 1,595. Die braunen Biotite zeigen ein Maximum im Bereiche der Lepidomelane. Die Kurve fällt etwas ab im Bereiche der Meroxene und erreicht ein Minimum bei $n_\beta = 1,60$. Bei 1,595 liegt ein weiteres kleines Maximum.

Die Kurve der grünen Biotite zeigt zwei deutliche Maxima, und zwar bei $n_\beta = 1,625$ (frische Meroxene) und bei 1,595 (verwitterte Glimmer). Diese

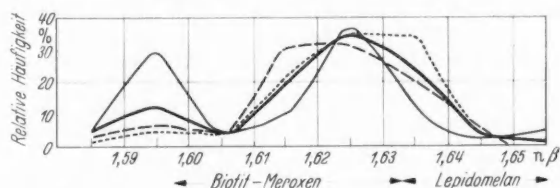


Abb. 4. Schwankungsbereich der Lichtbrechung in Biotiten aus dem Buntsandstein, S_u , Freden; — Durchschnitt (alle Biotite); --- frisch-braune; braun-grüne; — grüne

Kurve deutet darauf hin, daß die grünen Biotite in den Sedimenten nicht alle Verwitterungsprodukte sind. Die anderen Kurven verlaufen ähnlich wie die der braunen und der grünen Biotite.

Bei einem Vergleich mit der Lichtbrechungskurve der abgebauten Biotite nach

CORRENS und PILLER¹⁹ S. 767, Werte nach MEHMEL (1937) stellt man fest, daß die verwitterten Biotite etwa 30% weniger K_2O enthalten als die frischen Biotite.

Die Spaltbarkeiten und die Einschlüsse in den Biotiten sind ähnlich wie in den oben besprochenen Muskovititen. Die Spaltrisse senkrecht zu (001) sind oft von Einschlüssen ausgefüllt und lassen sich dadurch leichter erkennen.

Bemerkenswert sind die ringförmigen, pleochroitischen Höfe, die um Zirkon oder Orthiteinschlüsse entstehen und abnormale optische Eigenschaften zeigen. Sie sind zweiachsig und haben höhere Lichtbrechung als die Glimmerblättchen. Die pleochroitischen Höfe bestehen aus einem dunkelbraunen inneren Ring, einem orangefarbenen mittleren Ring und aus einem äußeren braunen, feinkörnigen Fe_2O_3 -Ring. Die Dimensionen von einem radioaktiven Einschluf und den ringförmigen pleochroitischen Höfen sind verschieden, etwa 35 μ (Zirkon), 100 μ (brauner Hof), 150 μ (orangefarbiger Hof) oder 15 μ (Zirkon), 45 μ (brauner Hof) und 50 μ (orangefarbiger Hof). Die pleochroitischen Höfe sind durch die α -Strahlung der radioaktiven Substanzen entstanden und wurden ausführlich von HÖVERMANN³⁵ beschrieben. Biotite mit pleochroitischen Höfen finden sich häufig im Buntsandstein, S_u , von Freden, und selten in den Biotiten des Virgentals.

ϵ) *Verwitterungsvorgang und die Verwitterungsprodukte der Biotite.* Der Verwitterungsvorgang wird von der chemischen Zusammensetzung der Biotite und von den Verwitterungsbedingungen bestimmt:

Die Mg-reichen Meroxene verwittern zu grauen oder hellblau-grünen Biotitblättchen. Sie werden durch Wegfuhr des Eisens schwach doppelbrechend. Die Lichtbrechung nimmt dabei ab. Das Eisen wird entweder ganz abtransportiert oder in den senkrecht zu (001) verlaufenden Spaltrissen ausgeschieden und zwar in Form von langen, nadelförmigen Einschlüssen, die aus kleinen

(um $1-2\mu$) Blättchen oder Pünktchen bestehen. Diese nadelförmigen Einschlüsse unterscheiden sich durch feinblättriges Aussehen und durch niedrigere Lichtbrechung von den glatten Rutilnadeln und orientierten Hämatitausscheidungen, die ein Entmischungsprodukt sind. Die Lichtbrechung der nadelförmigen Einschlüsse ist etwas höher als 1,84. Da diese Einschlüsse nur in den abgebauten z. T. gebleichten Biotiten mit niedriger Lichtbrechung beobachtet worden sind, wird angenommen, daß sie im Sediment entstehen.

Die eisenreichen Lepidomelane zeigen durch Abtransport von dreiwertigem Eisen grüne Farbe, niedrige Lichtbrechung (1,59—1,60) und niedrige Doppelbrechung (0,005—0,01). Das Biotitgitter wird instabil. Solche Blättchen können sich in Chlorit, Vermiculit oder Montmorillonit in Abhängigkeit von den Verwitterungsbedingungen umwandeln:

Durch ständige Wegfuhr der freigewordenen Ionen aus dem Glimmergitter (durch das zirkulierende Wasser) wird das Blättchen abgebaut bis zum Bauerit (DREIBRODT²¹). Baueritisierte Blättchen sind sehr selten in den untersuchten Proben. Sie enthalten noch weniger zersetzte Teile oder zahlreiche Einschlüsse.

In ständig durchfeuchteten Gesteinspartien wandeln sich die abgebauten, instabilen Biotitblättchen in Vermiculit oder in ein Montmorinmineral um. Die Umwandlung beginnt an der Oberfläche und in den Spaltrissen des Biotites und greift allmählich tiefer ein. Bei diesem Umwandlungsprozeß des Biotitblättchens darf keine mechanische Störung auftreten, z. B. durch Transport. Die Verwitterungsschicht ist sehr zerbrechlich und „weich“. Sie wird leicht zerstört, sobald die freigewordenen Ionen aus der Oktaederschicht weggeführt werden, bevor sie zwischen den Schichtpaketen (an Stelle des Kaliums) gebunden sind. Die Blättchen erscheinen im auffallenden Licht filzig-weiß, im durchfallenden Licht sind sie hellgrün oder hell-braun-gelb. Sie bestehen aus ziemlich hochdoppelbrechenden (etwa 0,02) feinkörnigen Aggregaten, mit Lichtbrechung $n_\beta = 1,575$. Solche verwitterten Biotite kommen in folgenden Sandsteinen vor: S_u (Freden), S_u (Duderstadt), in den glimmerreichen Lagen des mittleren Buntsandsteins, der mit feuchtem Boden bedeckt ist, ebenso im Nexö-Sandstein und besonders häufig in dem sandigen Keupermergel von Bornholm, der ständig mit Meerwasser bespritzt wird.

Durch länger dauernde Austrocknung und relativ kurze feuchte Perioden (am Berghang) bilden sich zahlreiche eisenhaltige Einschlüsse in den Spaltrissen und auf der Biotitoberfläche. Durch Verstopfung der Spaltrisse mit Eisenoxiden wird eine weitere Verwitterung des Glimmers verhindert. Nach Änderung der Verwitterungsbedingungen wird das Eisen aus den Spaltrissen abtransportiert, wodurch die weitere Zersetzung des Glimmers möglich ist.

Diese Vorgänge wiederholen sich vielfach in den Sedimenten und es gibt eine große Menge von den metastabilen Verwitterungszuständen der Biotite.

Die Entstehung des Chlorits wurde bereits bei der Verwitterung der zusammengeklebten Biotit-Muskovit-Blättchen erwähnt. Biotitblättchen, die sich zu Chlorit umwandeln, zeigen auffallende zitronengelbe Farben und grüne Interferenzfarben.

e) Verteilung der verschiedenen Glimmer in 4 Siebfractionen des unteren Buntsandsteins, Freden a. d. Leine. 350—400 Glimmerblättchen aus den Siebfractionen 0,50—0,25 mm, 0,25—0,12 mm, 0,12—0,06 mm und <0,06 mm

Tabelle 2. Verteilung der Glimmer mit unterschiedlichen optischen Eigenschaften in vier Siebfractionen

Beschreibung der Glimmer	Optische Eigenschaften	Siebfractionen							
		0,50—0,25		0,25—0,12		0,12—0,06		0,06 mm	
		Blättchen		Blättchen		Blättchen		Blättchen	
		Zahl	%	Zahl	%	Zahl	%	Zahl	%
A <i>Muskovite</i> $n_\beta < 1,590$ $n_\gamma - n_\alpha = 0,02$ bis 0,04	2V = 0°	2	0,6	1	0,3	3	0,75	4	1,0
	2V = 0—10°	7	1,9	5	1,5	13	3,25	17	4
	2V = 10—20°	20	5,25	15	4,2	18	4,5	5	1
	2V = 20—40°	38	11,5	15	4,2	16	3,5	3	0,75
	2V 40°	20	5,25	11	2,8			17	4
	Summe	87	24,50	47	13,0	50	12,00	46	11
B Verwitterte hell- farbige <i>Biotite</i> $n_\beta < 1,600$ $n_\gamma - n_\alpha = 0,005$ bis 0,017	hell-grün	20	5,7	19	5,25	26	6	24	5,5
	mit langen nadelför- migen Einschlüssen	8	2,3	6	1,75	16	3,5	1	0,25
	mit Eisenoxyd be- deckt	14	4	9	2,5	28	7	55	13,25
	$n_\beta = 1,60—1,61$ mit Eisenoxyd	25	7	21	5,5	48	12	54	13
	Summe	67	19	55	15	118	28,5	134	32
C Hellfarbige <i>Biotite</i> a) ohne b) mit zahlreichen Ein- schlüssen $n_\beta = 1,61—1,63$ $n_\gamma - n_\alpha = 0,02$ bis 0,03	braune, + N grün	11	3,25	7	2,5	18	4,5		
	braun mit farb- losen Flecken	19	5,25	24	6,5	48	11,5	90	22
	mit braunen Ein- schlüssen	16	5	41	12	29	7	19	4,75
	mit Einschlüssen und entfärbten Flecken	5	1,5	11	3,5	13	4	12	3
	mit nadelförmigen Einschlüssen	25	7	22	7	24	6	9	2,25
	Summe	76	22	105	31,5	132	33	130	32
D Frische <i>Biotite</i> a) trübe b) lebhafte Farben $n_\beta = 1,63—1,65$ $n_\gamma - n_\alpha = 0,04$ bis 0,05	braun	3	0,9	5	1,5	6	1,25		
	grün-grau	3	0,9	15	4,5	14	3,5	20	5
	grau	1	0,3	2	0,6	9	2,25		
	dunkel-braun	18	5,2	17	4,4	22	5,5	7	1,75
	hell-braun	24	6,5	12	3,5	24	6	6	1,5
	dunkel-grün	3	0,9	11	3	10	2,5	7	1,75
	hell-grün	8	2,3	22	6	21	5	61	15
	Summe	60	17,0	84	23,5	106	26,00	101	25,00
E Verwachsene und zusammengeklebte <i>Muskovite</i> und <i>Biotite</i>	frisch	46	13	52	14,5	2	0,5		
	verwittert	16	4,5	9	2,5				
	Summe	62	17,5	61	17	2	0,5		
	Die ganze Summe	352	100	352	100,0	408	100	411	100

Vgl. Abb. 5.

wurden ausgezählt und nach ihren optischen Eigenschaften in die oben beschriebenen Gruppen eingeteilt. Die Ergebnisse sind in der Tabelle 2 und in Abb. 5 dargestellt.

Abb. 5 zeigt die Prozentgehalte der Muskovite, der verwitterten, trüben und frischen Biotite sowie der zusammengeklebten Biotit-Muskovite in 4 Siebfractionen. Die Ergebnisse können folgendermaßen zusammengefaßt werden:

1. Die Biotite im unteren Buntsandstein, Freden, sind häufiger als die Muskovite.

2. Der Gehalt an Muskoviten und an zusammengeklebten Muskovit-Biotit-Blättchen nimmt mit abnehmender Korngröße ab.

3. Die trüben Biotite sind am häufigsten in der 0,25–0,12 mm Siebfraction und die hellen, gebleichten, verwitterten Biotite in der Siebfraction < 0,06 mm.

Eine ähnliche Glimmerverteilung wurde in dem Glimmerkonzentrat aus Duderstadt beobachtet. Glimmer aus den glimmerreichen Lagen des mittleren Buntsandsteins bestehen hauptsächlich aus Muskovit: Fraktion > 0,25 mm > 90% Muskovit, Fraktion < 0,25 mm > 80% Muskovit.

In den entfärbten grünlichen Glimmerlagen ist der Biotit grün und z. T. chloritisiert, in den rotbraunen Lagen ist er durch zahlreiche eisenhaltige Einschlüsse getrübt.

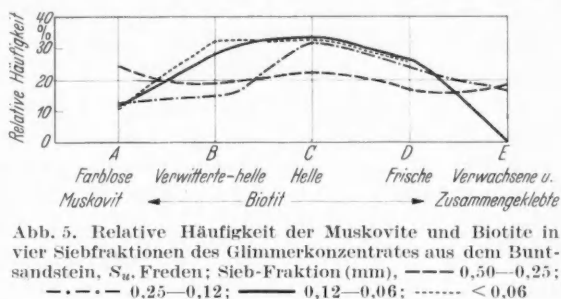


Abb. 5. Relative Häufigkeit der Muskovite und Biotite in vier Siebfractionen des Glimmerkonzentrates aus dem Buntsandstein, S. u. Freden; Sieb-Fraktion (mm); — 0,50–0,25; — · · · 0,25–0,12; — 0,12–0,06; - - - - < 0,06

2. Optische Untersuchungen der Sandsteine in Dünnschliffen

Die oben beschriebenen Glimmer stammen hauptsächlich aus den glimmerreichen Lagen zwischen den Sandsteinbänken und aus den ausgewaschenen Glimmeranreicherungen. Nach Bestimmung der optischen Eigenschaften der frischen und der verwitterten Glimmer in Streupräparaten und an einzelnen Blättchen mit Hilfe der Einbettungsmethode wurde in den Dünnschliffen festgestellt, welche Glimmer zwischen den anderen Mineralen eingelagert sind und wie sie eingelagert sind.

Der arkosische Nexö-Sandstein zeigt im Dünnschliff grobe Quarzkörner (bis 1 mm), die meist noch weiter gewachsen sind. Orthoklas und Plagioklas sind getrübt von Kaolinit, Serizit, Chlorit und Calcit. Diese feinkörnigen Zersetzungsprodukte der Feldspäte sind deutlich an den verzwilligten Plagioklasen zu erkennen. Feinkörniges Tonmaterial umsäumt die klastischen grobkörnigen Minerale. Muskovitblättchen sind frisch und liegen zwischen Quarz und Feldspat. Sie sind meistens durch Druck um die härteren Minerale gekrümmt und gebogen. Die Biotite sind durch Einschlüsse getrübt. Sie verwittern zu Chlorit und Vermiculit. Amphibole und Pyroxene wurden nicht beobachtet. Anreicherungen von Chlorit, Titanit, Hämatit und Limonit weisen darauf hin, daß die Fe-Mg-Mineralen zersetzt sind.

Die Buntsandsteine unterscheiden sich an Hand der Dünnschliffe von dem oben beschriebenen Nexö-Sandstein durch verschiedenen Gehalt an Feldspat,

Bindemittel und tonigem Material. Der Glimmergehalt in den untersuchten Dünnschliffen von den Buntsandsteinbänken beträgt 1–2%.

In dem sandigen Keupermergel von Bornholm besteht die feinkörnige Zwischenmasse aus Calcit.

Die Glimmergehalte in den Buntsandsteinen zeigen große Schwankungen: Die glimmerreichen Zwischenlagen bestehen fast nur aus Glimmer, die Sandsteinbänke enthalten 1–2% Glimmer. Nach IDA VALETON⁶⁴ enthalten die Süddeutschen Hauptbuntsandsteinbänke 1–4% und die glimmerreichen Lagen etwa 95% Glimmer.

PAULA SCHNEIDERHÖHN⁵⁶ gibt folgende Mineralzusammensetzung des feinkörnigen Buntsandsteins von Reinhausen an: Quarz = 75,4 Vol.-%, Feldspat = 18,2 Vol.-%, „Glimmer“ = 5,0 Vol.-%, hochlichtbrechende Minerale = 0,3 Vol.-%, Brauneisen = 1,2 Vol.-%. Nach PAULA SCHNEIDERHÖHN machen die klastischen Glimmerblättchen nicht mehr als 10% des ausgezählten „Glimmers“ aus. Die übrigen 90% des „Glimmers“ bestehen aus blättrigen, z. T. submikroskopischen Kleinindividuen.

Die mineralogischen Untersuchungen eines Bodenprofils über Buntsandstein (Steinbühl bei Bremke) von BRAUNE und HUFFMANN³⁶ haben gezeigt, daß der Buntsandsteinboden aus folgenden Mineralen besteht: Quarz = 68,4–46,7%, Alkalifeldspat = 21,3–20,7%, Plagioklas \approx 1%, Glimmer = 4,9–0,5% Glimmeraggregate \approx 1%, Fraktion $< 2\mu$ = 2,6–14,9%.

E. Röntgenographische Untersuchungen der sedimentierten Präparate mit Textur- und Guinier-Kamera

Es wurden Texturaufnahmen hergestellt, um den feinen Glimmer aus Tonen und Böden mit grobem Glimmer aus Sanden und Sandsteinen zu vergleichen.

1. Herstellung der Präparate

Glimmerblättchen von der 0,5–0,25 mm Siebfraction wurden mit Hilfe der Einbettungsmethode in optisch ähnliche Gruppen getrennt. Zur Herstellung von Texturpräparaten braucht man mindestens 1 mg Substanz. 1 mg entsprechen etwa 500 dünne Glimmerblättchen aus dem Buntsandstein oder etwa 100 dickere Blättchen aus dem Bachsande vom Virgental. Diese Blättchen wurden in einem Achatmörser unter Wasser etwa 30 min lang zerrieben. Die Suspension wurde mit der Pipette in das auf dem Präparatträger aufgeklebte Glasröhrchen von etwa 5 mm \varnothing übertragen. Diese Präparate wurden erst mit der Guinierdann mit der Texturkamera röntgenographisch untersucht. Die Aussuchung einiger Hunderte von Glimmerblättchen mit ähnlichen optischen Eigenschaften ist nicht immer möglich, weil gerade die interessantesten angewitterten Blättchen innerhalb dieser „Verwitterungs“-Gruppe untereinander sehr verschieden sind, wie aus den Tabellen 1a–d ersichtlich ist. Die schweren Glimmerblättchen aus dem Virgental wurden nach Lichtbrechung und nach Größe des Achsenwinkels in mehrere Gruppen getrennt. Die leichten Glimmerblättchen aus dem Buntsandstein wurden nach Farbe und Einschlüssen unterschieden. Charakteristische Glimmerblättchen wurden mit Hilfe von Einkristall-Röntgenmethoden untersucht. Von den Glimmerblättchen mit einem Durchmesser größer als 0,1 mm lassen sich noch Einkristall-Texturaufnahmen herstellen. Die Röntgenreflexe sind nicht ganz parallel angeordnet, weil die Glimmerblättchen ursprünglich schon verbogen und zerrissen waren.

Bei der Herstellung der Präparate wurden die kleinen Glimmerblättchen zuerst um eine dünne Nadel gekrümmt, dann um ein Glasröhrchen (0,1 mm \varnothing) geklebt. Die größte Schwierigkeit bestand bei der Justierung dieser kleinen Präparate in der Texturkamera, weil man sie nicht sehen konnte. Um die Justierung zu erleichtern, wurde in einem Röhrchen von 2 mm \varnothing ein Fenster ausgeschnitten und das Präparat-Röhrchen in der erforderlichen Lage in diesem

Fenster montiert. Der Ausschnitt im dickeren Röhrchen läßt sich ohne Schwierigkeit in der Kamera beobachten und justieren.

Zwei Proben, die große Basisabstände auf den Texturaufnahmen zeigten, wurden mit Glycerin getränkt, bis 120° C erhitzt und wieder untersucht. Beide Proben hatten darauf vergrößerte Basisabstände. Die Reflexe sind sehr schwach und verwaschen.

Sedimentierte Texturpräparate von solchen quellfähigen, verwitterten Glimmerblättchen herzustellen gelang nicht. Beim Zerreiben im Achatmörser wird die quellfähige Schicht zerstört. Es wird angenommen, daß die quellfähige Substanz sehr weich ist und nur auf der Oberfläche des innen noch frischen Biotitblättchens ausgebildet ist. Bevor man das ganze Material fein zerkleinert hat, ist die quellfähige Schicht wahrscheinlich zerstört, denn die Probe zeigt nur normale Basisreflexe von Biotit.

Einen Überblick über die röntgenographisch untersuchten Proben mit Fundort, ihren optischen Eigenschaften, Röntgenanalysen-Nummer, den angewandten Untersuchungsmethoden und die Ergebnisse gibt Tabelle 7.

2. Texturaufnahmen der Muskovite

Die mit Hilfe der Textur- und Guinier-Kamera hergestellten Aufnahmen wurden ausgewertet und mit den Pulverdiagrammen der 1M, 1Md, 2M und 3T Muskovite verglichen. Die Ergebnisse sind in den Tabellen 3 und 4 zusammengefaßt unter folgenden Angaben: Proben-Nummer, Intensität der Röntgenreflexe, Netzebenenabstände d_{002} und d_{060} .

Die Intensitäten der Röntgenreflexe auf den Guinier-Aufnahmen sind sehr schwach im Vergleich zu den starken Basisreflexen auf den Texturaufnahmen. Wegen dieser Textureffekte sind die geschätzten Intensitäten aller Röntgenreflexe außer (001) in den Tabellen 3 und 4 relativ zu schwach. Bei einigen Proben fehlen schwache Reflexe. Dadurch werden Unterschiede vorgetäuscht, die nicht vorhanden zu sein brauchen. Sie werden durch geringe Dicke des Präparates (weil zu wenig Muskovitblättchen vorhanden) und durch Verunreinigungen (Verdünnung des Muskovitgehaltes) verursacht.

a) Unterscheidung der verschiedenen Glimmerpolymorphen mit Hilfe der Texturaufnahmen. Nach YODER und EUGSTER⁷³ und SMITH und YODER⁶⁰ unterscheiden sich die Pulverdiagramme 2M-, 1M- und 3T-Muskovitmodifikationen durch verschiedene 2 θ -Werte der hkl-Reflexe, besonders im Bereich zwischen 20–40°. Die 112 und 112-Reflexe von 1M-Muskovit treten zwischen den 023–114- und zwischen 114–025-Reflexen des 2M-Muskovites auf, die den d -Werten von ungefähr 3,66 Å und 3,06 Å entsprechen. Auf dem Pulverdiagramm des 3T-Muskovites, treten charakteristische Reflexe 1015 und 1017 auf, die sehr nahe bei den 112- und 112-Reflexen des 1M-Muskovites liegen. Nach YODER und EUGSTER⁷³ kann man 1M von 3T-Muskovit unterscheiden. Nach SMITH und YODER⁶⁰ sind die Pulverdiagramme von 1M- und 3T-Biotiten identisch. Die 1M- und 3T-Biotite lassen sich nur durch Einkristallaufnahmen unterscheiden.

Die Unterschiede zwischen 2M- und 1M- bzw. 3T-Muskovitpulverdiagrammen sind sehr deutlich. Einachsige, dreischichtige Muskovite lassen sich von zweiachsigen, zweischichtigen Muskoviten an Hand der hkl-Reflexe durch Guinier-Aufnahmen unterscheiden.

b) Texturaufnahmen der zweiachsigen Muskovite (2M) sind in der Tabelle 3 dargestellt. Zum Vergleich werden die Indizes, die Netzebenenabstände und die entsprechenden Intensitäten der Röntgenreflexe der 1M-, 1Md- und 2M-Muskovite nach Angaben von YODER und EUGSTER⁷³ aufgeführt. Die mit römischen

Tabelle 3a. *Pulverdiagramme der IM-, IMD- und 2M-Muskovite*
(Proben I—IV nach Angaben aus der Literatur)
FrISChe Muskovite

hkl	Probe													
	I		II	III	IV		V	45P	47Ch	52Ch	48P	49		
	d Å	Intensität			hkl	d Å	Intensität							
001 ⁺	10,07	6	5	5	002	10,01	6	5	4	4	3	5	3	
002 ⁺	5,03	3	3	2	004	5,02	4	3	3	2	2	4	2	
020 ⁺	4,45	5	5	5	110	4,48	4	5	3	3	1	2	3	
111	4,35	2	1		111	4,45	5	1 ⁻	4	4	2	3	4	
021	4,11	1	1		021	4,39	2		1	2	1	1	1	1
					111	4,29	2			1	1	1	1	1
					022	4,10	2			1	1	1	1	2
					112	3,97	2			1	2	1	1	2
112	3,66	4	4	113	3,88	3	2	2	1	2	1	1	1	
				023	3,73	3	1 ⁻	1	1	1	1	1	1	
003 ⁺	3,55	6	5	5	114	3,50	4	1	1	1	1	1	1	
					006	3,35	6	6	6	6	4	6	5	
112	3,07	1	4	1	114	3,21	4	1	4	2	1	2	2	
113	2,93	1	2		025	2,99	4	1 ⁻	1	1	1	1b	1	
023	2,69	1	1		115	2,87	3	3	1	1	1	1	1	
					116	2,80	2	1	1	1	1	1	1	
					130 ⁺	2,58	4	6	6	131	2,58	4	1	3
131	2,56	6		1d	202	2,56	6	5	4	3	2	3	4	
200 ⁺	2,55	2			1	008	2,51	2	1	1	1	1	3	
131	2,45	1		1d	113	2,46	1	2	2	1	2	1	2	
132	2,40	1			204	2,39	3	1						
114	2,38	3			3	133	2,38	3	3	1		1		
040	2,24	1			2	221	2,24	2	2	1		2	1	1
220	2,22	1			1d	041	2,23	1	1 ⁻	1		1	1	1
041	2,19	1	221	2,20		1	1	1	2	1	1			
133	2,15	2	3	1d		223	2,18	1	1					
202	2,11	1			222	2,15	2					1		
					043	2,13	3	3				1		
					044	2,05	1	1 ⁻			2	2		
005 ⁺	2,01	3	5	1d	0010	2,01	6	3	4	3	4	2	3	
133	1,96	1	1		137	1,97	2	1	1	1	1	1		
134	1,90	1			1									
116	1,67	2	1d		139	1,73	1	1	1	1	1	1	1	
					241	1,69	1		1	1		1	1	
151	1,65	1			2010	1,67	2	2	2	2		1	1	
204	1,63	1			1	314	1,65	2	2	2	1	1	1	1
135	1,54	1			313	1,60	2	1	1		1	4	2	
					314	1,55	1	1	1	1				
060 ⁺	1,49	3	5	5	060	1,50	5	3	4	4	5	4		
d ₀₀₂ (Å)								9,97	100	10,1	10,0	10,1	9,98	
d ₀₆₀ (Å)			1,5	1,5				1,498	1,51	1,50	1,50	1,50	1,50	

+ = 1Md (vgl. Erklärung im Text).

b = breite Reflexe; d = diffuse Reflexe.

Ziffern bezeichneten Pulverdiagramme sind aus der Literatur entnommen. Die Texturaufnahmen Nr. 45, 47, 52, 48, 49 und 46 sind von frischen Muskoviten aus dem Virgental. Die folgenden Proben 40—62 sind z. T. angewitterte

Tabelle 3b. *Texturdiagramm der 2M-Muskovite aus den Sandsteinen*
(Kleine Proben)
Angewitterte Muskovite

Probe													1M(d ⁺)
46 Fe	40	41	42 Ch	57	58	65	61	62 Fe	53	54	43	44	
Intensität													hkl
5	6	3	5	5	5	5	5	4	5	5	4	5	001 ⁺
4	4	2	4	3	4	4	3	3	3	3	3	3	002 ⁺
5	3	2	2	3	3	3	3	3	2	3	4	4	020 ⁺
5	1	3	3	3	3	4	4	3	4	4	5	5	111̄
22	1	1	1	2	2	2	2	2	1	2	1	1	021
1	1		2	2	3	3	1	2	2	2			
1	1		1	2			1	1	1	1	1	1	
1	2				3	2	1		2	2	2	1	
1	2	1	2	1	2	2	2	1	3	2	1	1	112̄
1	2	1	1	2	2	1	2	1	2	2	2	2 ^b	
6	6	6	6b	6	6	5	5	6	6	6	4	2	003 ⁺
1	3	2	1b	1	1	1	2	1	2	3	4b	2b	112̄
1	3b	3	1	1	3	1	2	2	2	2	2		113̄
	2	3	1	1	1	2	1	1	1	1		1	
	1	3	1	1	1	1		1			2	3	
													023
5	3	2	4	3	4	3	2	2	3	2	3	4	
5	5	5	3	4	5	4	4	3	4	5	4	4	131
2	2	2		3	2	1	3	3	2	3	3	2	200 ⁺
1	1	1	2b	2	1	2b	2	2	3	2b	1	2	131
1	2b	2b	2		2	2b	2	1	2	2	2		132̄
			2		2	2	2	1	1	1	1	2	114̄
1	1	1	2	2	2	2	2		1	1	1	1	040
1	1b	1	1	2	2	1	1	2	1	1b	1		220
2	1	1	1	2	2	2	1	2	2	1		1	041
	1	1	1	1	2		1					1	
1	1	1	1	1	2	1	2		1	2	2	2	133̄
1	2	1	1b	1	2	1	2		1	1	2	2b	202
	1	1	2	2	1b	1	2				2	2	
4	5	4	5	5	3	5	2	4	5	5b	3	5	005 ⁺
1	1b		2	2	2	1	2b	1	1	2	2	1	133̄
													134̄
1	1b		2	2	2	2		2		1b	1b	1	
1	1		1	1	1		2b		1	2			
2	1	2b	2	1	1		1		2	2	2	3b	116̄
	1		1			1	2		2	1			151
													204
	1		1	1	2			2	1				
1	1b		1	1	2		1	1	1	2		2	135
5	3	2	4b	4	6	5	4	4	3	5	4	2	060 ⁺
10,04	10,0	9,96	9,95	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	9,98	9,98	9,95	9,95	d ₀₀₂ (Å)
1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,51	1,49	1,50	1,49	1,49	d ₀₆₀ (Å)

Muskovite aus den Sandsteinen. Probe Nr. 53 ist der von BÖHMEKE² untersuchte frische Muskovit. Probe Nr. 54 wurde von ihm bei p_H 5,8 zwei Monate mit Wasser behandelt und enthält etwa 20% weniger K₂O und etwas weniger SiO₂ und Al₂O₃. Die Texturaufnahmen dieser Proben zeigen keine wesentlichen Unterschiede. Proben Nr. 43 und 44 sind die Zersetzungsprodukte von

pegmatitischem Feldspat (Min. Museum Probe Nr. 802). Sie zeigen etwas verbreiterte Röntgenreflexe. Die Beschreibung der Proben aus den Sandsteinen mit ihren optischen Eigenschaften ist in der Tabelle 6 angegeben.

Die Vergleichs-Pulverdiagramme aus der Literatur. 1. Pulverdiagramme nach YODER und EUGSTER⁷³. Probe Nr. I ist ein 1M-Muskovit. Die charakteristischen 1Md-Reflexe (001), (0k0) und (hk0) sind mit Kreuzen(+) markiert. Probe Nr. IV ist ein 2M-Muskovit.

2. Pulverdiagramme der feinkörnigen Glimmer aus Tonen nach LEVINSON⁴⁴. Probe Nr. II (1M)-Illit aus dem Ton (China-Clay) von St. Austell, Cornwall. Probe Nr. III (1Md)-Illit aus Pennsylvanian underclay, Fithian, Ill.

LEVINSON⁴⁴ nimmt an, daß die Unterschiede zwischen den Pulverdiagrammen Nr. II und Nr. III (bzw. Kristallisationszustand dieser Proben) von der chemischen Zusammensetzung abhängig sind. Probe Nr. II enthält 6,09% K_2O und 8,69% H_2O , Probe Nr. III enthält 8,3% K_2O , Glühverlust = 5,7%.

3. MACKENZIE und MILNE⁴⁷. Probe Nr. V, nehmen an, daß 2M (zweischichtige) Muskovite sich beim Zerreiben im Achatmörser in 1M (einschichtige) Muskovite umwandeln, weil einige Röntgenreflexe schwächer werden (diese sind in der Tabelle 3 mit (—)-Zeichen markiert) und andere Röntgenreflexe stärker werden. YODER und EUGSTER⁷³ zweifeln an solchen Strukturänderungen, aber sie geben zu, daß durch Zerreiben im Achatmörser die Glimmerstruktur zerstört wird (nach etwa 8 Std). Da die untersuchten Glimmerproben aus den Sandsteinen zur Herstellung der Texturpräparate im Achatmörser 30 min lang zerrieben worden sind, ist die Probe von MACKENZIE und MILNE⁴⁷ angeführt worden, um zu zeigen, welche Änderungen nach der Zerkleinerung auftreten können.

Einige Proben zeigen außer Muskovitreflexen noch schwache Reflexe von anderen Mineralen: die Proben 42, 47 und 52 enthalten Spuren von Chlorit (in der Tabelle 3 neben der Probennummer mit „Ch“ markiert die Proben 62 und 46 enthalten Spuren von Eisenoxiden („Fe“), die Proben 45 und 48 führen Paragonit („P“).

Auf den Texturaufnahmen der frischen Muskovite fehlen einige schwache Röntgenreflexe. Die angewitterten Proben aus den Sandsteinen zeigen mehr Röntgenreflexe als die frischen und zwar aus folgenden Gründen:

Die Texturproben wurden aus etwa 1 mg zerkleinerter Glimmerblättchen hergestellt. (Normalerweise werden 10–40 mg Probensubstanz untersucht.) Die frischen Muskovite lassen sich sehr schwer zerkleinern. Sie zerspalten nach (001) und werden immer dünner, aber senkrecht zu (001) sind sie sehr fest und die Ausdehnung der Blättchen ist noch verhältnismäßig groß (bis 100 μ). Bei längerem Reiben besteht die Gefahr, daß die Glimmerstruktur zerstört wird, deswegen wurden allen Proben nur etwa 30 min gerieben. Die angewitterten Proben aus den Sandsteinen dagegen, sind schon von den Spalttrissen durchzogen und lassen sich in derselben Zeit feiner zerkleinern (bis etwa 20 μ). Dadurch werden die Textureffekte größer in den groben Proben als in den feinen und die hkl-Reflexe auf den Guinier-Aufnahmen werden geschwächt. Die schwachen Röntgenreflexe bei den größeren Glanzwinkeln sind kaum zu erkennen. Die Belichtungszeit bei dem Guinier-Verfahren war für alle Proben die gleiche: 6 Std.

Einige Muskovite aus dem Virgental sind mit anderen Mineralen verwachsen. Dadurch werden die Muskovitgehalte in diesen Proben kleiner als in den reinen Proben.

In der Tabelle 4 sind zwei Pulverdiagramme vom Muskovit aus Sultan Basin, Wa. verglichen, die von YODER und EUGSTER⁷³ und von LEVINSON⁴⁴ veröffentlicht sind. Dieses Beispiel wurde angeführt, um zu zeigen, daß Pulverdiagramme derselben Probe, die aber in verschiedenen Laboratorien hergestellt sind, einige Unterschiede zeigen können.

Aus den charakteristischen Röntgenreflexen konnten die Verfasser die dreischichtige Muskovitmodifikation erkennen und von den Pulverdiagrammen der zweischichtigen Muskovite unterscheiden.

Die oben erwähnte Bemerkung gilt auch für den Vergleich der Texturdiagramme mit den Pulverdiagrammen in der Tabelle 3. Diese soll zeigen, zu welchen Muskovitmodifikationen die zweischichtigen Muskovite aus den Sandsteinen gehören, und ob man die kleinen Gehalte an 1Md-Muskovit in den Proben, die hauptsächlich aus 2M-Muskovit bestehen, erkennen kann.

Nach der Lage der hkl-Reflexe (vgl. „Unterscheidung der verschiedenen Glimmermodifikationen“ im vorigen Kapitel) sind die farblosen zweiachsigen Glimmer aus den untersuchten Sandsteinen 2M-Muskovite.

Die Lage der 1Md-Reflexe (in der Tabelle 3 unterstrichen) ist ungefähr dieselbe, wie die stärksten 2M-Reflexe: 020- und alle Basisreflexe. Der 130-Reflex des 1Md ($d = 2,582 \text{ \AA}$) liegt sehr nahe am 131-Reflex des 2M ($d = 2,589 \text{ \AA}$). Der größte Unterschied zwischen den 1Md- und 2M-Reflexen ist ihre Breite und Schärfe: die 1Md-Reflexe sind breit und diffus.

Das Pulverdiagramm des Tones aus Fithian, Ill. (nach LEVINSON⁴⁴) zeigt hauptsächlich 1Md-Reflexe und sehr schwache, verbreiterte Reflexe, die den Lagen 112, 114, 040, 133 und 115 entsprechen. Der Muskovit dieses Tones hat ein fehlgeordnetes Gitter mit wenigen geordneten Lagen und entspricht dem 3. Unordnungsgrad nach HENDRICKS³⁰.

Das Pulverdiagramm der Tone aus St. Austell zeigt charakteristische 112 und 112 1M-Reflexe. Dieser Glimmer hat ein ziemlich gut geordnetes Gitter mit einigen fehlgeordneten Lagen. Die Pulverdiagramme der feinkörnigen Muskovite aus Tonen unterscheiden sich von denen der zerkleinerten Muskovite hauptsächlich durch verbreiterte Röntgenreflexe, wie es LEVINSON⁴⁴, in den Abbildungen der Pulverdiagramme gezeigt hat.

Die angewitterten, abgeblättern Muskovite bestehen aus den abgebauten Teilen an den Spaltrissen entlang sowie aus den frischen Teilen dazwischen. Diese frischen Teile geben noch deutliche Reflexe bei den Röntgenaufnahmen. Sie zeigen deutliche und scharfe 2M-Röntgenreflexe.

In den Proben, die hauptsächlich aus 2M-Muskovit bestehen, ist es sehr schwierig geringe Gehalte von 1Md-Muskovit zu erkennen, weil die verwaschenen 1Md-Röntgenreflexe von den stärkeren 2M-Reflexen verdeckt werden.

Da die angewitterten Muskovite keine bemerkbaren Änderungen der Gitterkonstanten zeigen, wäre die Strukturuntersuchung der Verwitterungskomponente nur mit Hilfe der Einkristall-Röntgenaufnahmen möglich, und zwar mit der Weissenberg-Methode, wobei die einzelnen Reflexe getrennt werden.

Auf den Einkristall-Texturaufnahmen zeigen die aufgeblättern Muskovite scharfe Basisreflexe.

Es wurden zwei Weissenberg-Aufnahmen von einachsigen Muskoviten gemacht: eine von frischem Muskovit aus dem Sande vom Virgental (ähnlich den Muskoviten wie in Texturaufnahme 51), die zweite von einem Muskovit aus dem Buntsandstein. Die [021]-Reflexe von dem Muskovit aus dem Buntsandstein sind stabförmig, die des Muskovites aus dem Virgental sind schärfer und weniger diffus. Diese Aufnahmen geben einen Überblick, wieviel Reflexe noch auf den Einkristall-Aufnahmen vorhanden sind. Diffuse Reflexe können durch Verbiegungen der Probe entstehen und aus diesen Reflexen darf man keine Schlüsse ziehen über den Kristallisationszustand der Glimmer bis die angewitterten Muskovite sehr ausführlich untersucht und mit den Proben von frischen Muskoviten verglichen sind.

Es muß hier noch erwähnt werden, daß alle Verfasser, die mit Hilfe der Weissenberg-Methode Glimmer untersuchen, vermeiden, die Proben zu zerkleinern, weil dadurch Verbiegungen entstehen, die unerwünschte Effekte verursachen.

RINNE⁵⁴ (S. 230) zeigt die Unterschiede zwischen zwei Laue-Aufnahmen von einem gebogenen und einem glatten Glimmerblättchen.

LEVINSON⁴⁴ veröffentlichte die Weissenberg-Aufnahme von einem Muskovitblättchen aus dem Yorkshire Fireclay, der von CARR und Mitarbeitern¹⁵ beschrieben worden ist. Nach den Verfassern enthält der Hydroglimmer aus dem Yorkshire Fireclay nur 5,72% K_2O und 0,94% Na_2O . Auf dem veröffentlichten Pulverdiagramm von diesem Hydroglimmer lassen sich Kaolinit-Reflexe erkennen; deswegen kann man aus der chemischen Analyse die Zusammensetzung des Glimmerblättchens (LEVINSON⁴⁴) kaum einwandfrei berechnen. Die Weissenberg-Aufnahme von LEVINSON⁴⁴ ist bisher die einzige von einem aus einem Sediment stammenden Muskovit veröffentlichte Einkristall-Aufnahme. Sie zeigt in die Länge gezogene Röntgenreflexe*, die ähnlich wie auf der Aufnahme des Muskovits aus dem Buntsandstein sind. Die Ergebnisse der eigenen Weissenberg-Aufnahmen werden weiter unten diskutiert.

c) Unterscheidung der einachsigen Muskovite von den zweiachsigen Muskoviten und von den gebleichten Biotiten durch Texturaufnahmen. Die einachsigen

* In dem weiter folgenden Text als „ausgelängte Reflexe“ bezeichnet. Der von JAGODZINSKI und LAVES benutzte Ausdruck „stabförmiger Reflex“ wird hier vermieden, weil dieser Ausdruck im Zusammenhang mit fehlgeordneten Kristallgittern gebraucht wird und hier nicht näher untersucht wurde, ob Fehlordnung oder Deformation die Ursache der „ausgelängten Reflexe“ ist.

Muskovite sind seltener als die zweiachsigen. Ihre Erkennung im Mikroskop bietet oft Schwierigkeiten, weil sie bei einfach polarisiertem Licht den zweiachsigen Muskoviten sehr ähnlich sind, bei gekreuzten Nicols aber „isotrop“ erscheinen und deshalb übersehen werden. Diese einachsigen Muskovite wurden in allen untersuchten Sandsteinen gefunden. Ihre Häufigkeit beträgt etwa 1% bis maximal 10% des gesamten Muskovitgehaltes. Man hat das Vorkommen von einachsigen Muskoviten verkannt und sie wahrscheinlich mit den Chloriten und gebleichten Biotiten verwechselt.

Im folgenden wird zu zeigen versucht, daß der einachsige Muskovit kein „normaler“ zweiachsiger Muskovit und kein Chlorit oder gebleichter Biotit ist.

Die „einachsigen“ Interferenzfiguren von zweiachsigen Muskoviten können durch Übereinanderlagerung von mehreren Muskovitblättchen entstehen, worauf SCHUMANN⁵⁹ hingewiesen hat. BRAITSCH⁵ (S. 334) zeigte die Abhängigkeit des

Tabelle 4. Pulver- und Texturdiagramme von dreischichtigen Muskoviten

hkl	Probe XII ¹		Probe XII ²		Probe VIII ²	Probe 50 ³	Probe 51 ³
	dÅ	Intensität	dÅ	Intensität	Intensität		
0003	9,969	6	9,98	5	5	4	5
0006	4,991	4	4,98	3	3	3	4
10 $\bar{1}$ 0	4,492	2				1	
10 $\bar{1}$ 1	4,460	2	4,47	5	6	3	2
10 $\bar{1}$ 2			4,29	1	1	1	1
10 $\bar{1}$ 3			4,11	1	1	1	1
10 $\bar{1}$ 4	3,873	1	3,87	3	3	2	1
10 $\bar{1}$ 5	3,596	1	3,60	3	2	1	1
0009	3,331	6	3,34	6	6	5	6
10 $\bar{1}$ 7	3,110	1	3,10	3	3d	1	1
10 $\bar{1}$ 8	2,884	2	2,87	3	3d	2	1
11 $\bar{2}$ 1	2,589	2				3	2
11 $\bar{2}$ 2	2,564	3	2,57	6	6	3	3
00012	2,499	2					2
11 $\bar{2}$ 4	2,457	1	2,47	3d	2	3	2
11 $\bar{2}$ 5	2,384	1	2,38	3	1		
20 $\bar{2}$ 0	2,254	1				1	1
11 $\bar{2}$ 7	2,222	1			2	1	1
20 $\bar{2}$ 3	2,197	1	2,20	1			
11 $\bar{2}$ 8	2,136	2	2,13	3	3	1	
20 $\bar{2}$ 6	2,056	1	2,05	1			
00015	1,999	5	2,00	4	3	5	3
11 $\bar{2}$ 10	1,966	1	1,96	1			
11 $\bar{2}$ 13			1,72	1		1	
11 $\bar{2}$ 14	1,654	2	1,65	3	3d	2	1
21 $\bar{3}$ 5	1,638	1				1	1
21 $\bar{3}$ 6	1,614	1	1,61	1			
21 $\bar{3}$ 8	1,55	1				1	
11 $\bar{2}$ 16	1,521	1	1,52	1		2	1
30 $\bar{3}$ 0	1,502	2	1,50	3	5	3	4
d ₀₀₀₃ (Å)					9,9	9,94	9,94
d ₃₀₃₀ (Å)					1,497	1,509	1,505

Proben Nr. XII: Muskovit (Sultan Basin, AXELROD-GRIMALDI 1949); VIII: Illit (Ballater, MACKENZIE und Mitarbeiter 1949); 50 und 51: Einachsige Muskovite vom Virgental.

¹ Pulverdiagramm nach YODER und EUGSTER (1955).

² Pulverdiagramm nach LEVINSON (1955).

³ Textur- und Guinier-Aufnahmen. Proben Nr. 50 und 51 enthalten Spuren von Chlorit.

Achsenwinkel V_{res} von der Divergenz zwischen den Achsenwinkelebenenspiuren zweier aufeinander gelagerter, gleich dicker Muskovitplatten. Deshalb ist die Größe des Achsenwinkels allein noch kein Beweis, daß es sich um eine andere Muskovitmodifikation handelt. Dagegen kann man aus den Texturaufnahmen Strukturunterschiede erkennen.

An den Basisabständen sieht man, daß kein Chlorit sondern ein Glimmer vorliegt (vgl. Tabelle 4, Probe Nr. 51).

Vergleicht man die Basisreflexe und die 060-Reflexe eines solchen Glimmers mit einem normalen Muskovit und einem Biotit, so sieht man folgendes:

1. Der zweite starke Basisreflex ist von der gleichen Intensität wie der zweite Reflex in dem Muskovit (Tabelle 3, Diagramm 48 P), während er in dem Biotitdiagramm sehr schwach ist oder sogar fehlt.

2. Die 2 θ -Werte des 060-Reflexes von zweiachsigen und einachsigen Muskovit sind gleich, und der 2 θ -Wert des 060-Reflexes von Biotit ist deutlich kleiner. Dieses Merkmal deutet darauf hin, daß der einachsige Muskovit ein dioktaedrischer Glimmer ist mit dreiwertigen Ionen in Sechserkoordination.

Die einachsigen Muskovite aus dem Virgental haben andere 2 θ -Werte der hkl-Reflexe als die zweiachsigen, wie die Tabellen 3 und 4 zeigen.

Die Texturaufnahmen von einachsigen Muskoviten aus dem Sande vom Virgental sind mit Pulverdiagrammen von dem dreischichtigen Muskovit von Sultan Basin und mit dem Illit von Ballater in der Tabelle 4 verglichen. Die beiden Muskovitproben aus dem Virgental enthalten Spuren von Chlorit, die auf dem Texturdiagramm kaum zu erkennen sind. Die Ergebnisse der Texturaufnahmen wurden durch Weissenberg-Aufnahmen bestätigt.

3. Texturaufnahmen von Glimmern, die mit anderen Mineralen verwachsen sind.

Die Texturaufnahmen beweisen, daß einige Glimmer mit anderen Mineralen verwachsen sind; Probe Nr. 15 zeigte eine Biotit-Chlorit-Verwachsung. Bei Chloriten sind die geraden Basisreflexe stärker als die ungeraden. Wenn wenig Chlorit im Biotit vorhanden ist (besonders bei den eisenreichen Chloriten), kann der erste Basisreflex zurücktreten. Der zweite und dritte Chloritbasisreflex sind deutlich sichtbar. Bei Kaolinit haben die zwei ersten Basisreflexe ungefähr die gleiche Intensität. Chlorit unterscheidet sich von Kaolinit: 1. Bei eisenarmen Varietäten durch Auftreten des $d = 14 \text{ \AA}$ -Reflexes, 2. bei eisenreichen durch die unterschiedlichen Intensitäten der 7 \AA - und 3,5 \AA -Reflexe.

Die Vermiculite unterscheiden sich von den Chloriten durch sehr breite und verwaschene Basisreflexe und durch sehr starke Intensität des ersten Basisreflexes verglichen mit dem zweiten und dritten. Paragonit hat einen kürzeren Basisabstand als Muskovit, wie von HARDER²⁸ beschrieben.

4. Texturaufnahmen der Biotite

Die Biotite in den Sandsteinen sind sehr verschiedenartig. Wie aus den Tabellen 1 b—d und Abb. 4 ersichtlich ist, gibt es wenige Biotite mit gleichen optischen Eigenschaften. Sie unterscheiden sich dem Verwitterungszustande nach und enthalten oft viele Einschlüsse. Es gibt kaum zwei gleichmäßig stark verwitterte Biotitblättchen. Deswegen geben Texturaufnahmen, für die man einige 100 Blättchen benötigt, nur einen allgemeinen Überblick über die Zusammensetzung der Biotite.

Biotite zeigen auf den Röntgenaufnahmen (Cu-Strahlung) eine starke Schwärzung des Untergrundes und breitere Reflexe als die Muskovite. Diese Verbreiterung entsteht entweder durch fehlgeordnetes Biotitgitter, worauf HENDRICKS und JEFFERSON³² hingewiesen haben, oder durch Wechsellagerung (Biotit-Vermiculit-Verwachsungen). Die Lage des ersten Basisreflexes hängt von dem Gehalt an Biotit- und Vermiculit-Komponente ab. Enthält Biotit nur relativ wenige Vermiculit- oder Montmorillonit-Kristallite, so verbreitert sich der erste Basisreflex schattenförmig von 10,1 Å auf 10,5–11 Å. Der prozentuale Anteil der an der Wechsellagerungsstruktur beteiligten Mineralkomponenten läßt sich nach HENDRICKS und TELLER³³ und BROWN und MACEWAN⁹ berechnen. WALKER⁶⁷ beobachtete solche verbreiterten Basisreflexe auf Pulveraufnahmen des verwitterten Biotites von Glen Buchat, Aberdeenshire. Mit der Zunahme des Verwitterungszustandes nimmt die Vermiculitkomponente zu und der erste Basisreflex vergrößert sich bis auf 14 Å.

Auf den Texturaufnahmen einiger getrübter Biotite aus den Sandsteinen wurden schwache, schattenförmige Verbreiterungen des ersten Basisreflexes bis auf 13,6 Å beobachtet. Aus den Einkristallaufnahmen ist der verwaschene Basisreflex des Vermiculites oder der Biotit-Vermiculit-Verwachsung aber meistens von dem schärferen Biotitreflexe deutlich getrennt. Dieser Unterschied im Aussehen der Basisreflexe auf den Einkristall- und Texturaufnahmen (sedimentierte Präparate) läßt sich folgendermaßen erklären:

1. Die aus mehreren Blättchen bestehende Probe ist inhomogen. Sie enthält Biotitblättchen, die unterschiedliche Verwitterungszustände zeigen. Durch verschiedene Lagen des „Hydrobiotitreflexes“ (in Abhängigkeit vom Vermiculitgehalt) in den einzelnen Biotitblättchen, entsteht ein verwaschener, breiter Streifen der Basisreflexe, der von dem Biotitreflex (10,1 Å) nicht getrennt wird.

2. Durch Aufbereitung der Probe wird die Vermiculitkomponente z. T. zerstört.

Die untersuchten Biotite zeigen auf den Texturaufnahmen hauptsächlich Biotitreflexe mit schwachen „Hydrobiotit-“ oder Chloritreflexen, wie sie oben beschrieben worden sind. Sie gleichen den „Biotiten im ersten Verwitterungsstadium“ von WALKER⁶⁷. Er weist darauf hin, daß in solchen Biotiten fast das gesamte Eisen oxydiert wird, und daß etwa 50% des Kaliums abtransportiert wird ohne wesentliche Änderungen des Gitters.

Aus den Einkristallaufnahmen geht aber hervor, daß die untersuchten Texturproben der Biotite aus den Sandsteinen heterogen sind und aus Blättchen mit verschiedenen Gittern bestehen (vgl. „Einkristallaufnahmen“). Einige Blättchen enthalten quellfähige Verwitterungsprodukte, die nach der Behandlung mit Glycerin größere Basisabstände als die des Vermiculites zeigen, die WALKER⁶⁷ auf den Pulveraufnahmen der stark verwitterten Biotite beobachtete.

Der erste Basisreflex der Biotite liegt zwischen 10,16 Å und 10,05 Å, der *d*-Wert des 060-Reflexes beträgt 1,5418–1,5371 Å (*b*-Achse = 9,25–9,22 Å).

Die chemische Zusammensetzung der Oktaederschicht wurde aus der Intensität der Basisreflexe (Kurve nach BRINDLEY⁶) ermittelt. Das ermittelte Verhältnis von Fe:Mg in opaken und in dunkelbraunen Biotiten ist 2:1, in hellnußbraunen 1:3, in hellgrauen und hellgrünen 1:4. Der zweite Basisreflex ist sehr schwach oder fehlt ganz.

Die Chloritreflexe auf den Röntgenaufnahmen der Biotite vom Virgental sind scharf (metamorphe Chlorite), die der Biotitaufnahmen aus dem Buntsandstein diffus.

5. Texturaufnahmen von Chloriten

Chlorite kommen sehr häufig in den Sanden vom Virgental, Hohe Tauern, vor. Die optischen Eigenschaften der farblosen und hell-grünen Chlorite sind denen der Muskovite ähnlich. Die dunkel-grünen Chlorite gleichen den Biotiten. Alle Chlorite vom Virgental sind aber optisch positiv und lassen sich dadurch von den Glimmern unterscheiden. Chlorit ist auch oft mit Biotit und Muskovit verwachsen. Da Farbe und Lichtbrechung von Chlorit und Glimmer sehr ähnlich sind, wird die optische Unterscheidung dieser Minerale in Chlorit-Glimmer-Verwachsungen sehr schwierig, und nur durch Bestimmung des optischen Charakters an vielen Stellen des Blättchens möglich. Die Bestimmung von Chloriten in Glimmern ist wichtig für die Auswertung der chemischen Analysen. Unterschuß von Alkalien in Glimmern kann durch Chlorit-Glimmer-Verwachsungen erklärt werden, ebenfalls die kleinen Alkaligehalte in den spektrographisch untersuchten Chloriten.

Fünf Chlorit-Gruppen wurden in Texturaufnahmen untersucht. Die Ergebnisse wurden mit den Angaben von v. ENGELHARDT²² und BRINDLEY und GILLERY⁷ verglichen. Es wurden die Tabellen nach BRINDLEY⁶ benutzt, um Si/Al_{IV}-Verhältnisse zu berechnen, und die Tabelle nach v. ENGELHARDT²², um die Zahl der Fe⁺⁺-Ionen in der Elementarzelle zu bestimmen.

Die Ergebnisse der röntgenographischen und optischen Untersuchungen sind in den Tabellen 5 und 6 zusammengefaßt.

Tabelle 5. Die optischen und röntgenographischen Daten der Chlorite vom Virgental

Probe: Farbe aus Farbmeßtafel nach OSTWALD	n_g 2 V°	Textur- aufnahme Nr.	Gitterabstände ($\beta = 97^\circ 15'$)			Si Al _{IV}	Zahl der Fe ⁺⁺ in der Elementarzelle
			a	b	c		
Fast farblos 4. II ac 19—22	1,595 0°	17	5,30	9,18	14,20	3	0—1
Hell olivenfarbig 4. IV gc 24	1,60 0—10°	18	5,32	9,25	14,05	2	etwa 6
Olivenfarbig 4. VIII pg 24	1,60—1,61 20—30°	19	5,32	9,30	14,05	2	etwa 6
Blau-grün 4. IV ic 20	1,59—1,60 bis 30°	20	5,31	9,30	14,16	2,5	4
Dunkel-grün 4. VIII pg 22 bei + Nicols 4. X pi 20	1,61 10—20°	21	5,31	9,32	14,0	2	etwa 8

Alle untersuchten Chlorite aus dem Bachsande vom Virgental sind optisch positiv und haben große Basisabstände. Die Intensität der ungeraden Basisreflexe ist stark. Alle diese Merkmale deuten auf hohen Magnesiumgehalt und relativ niedrigen Eisengehalt in den Chloriten vom Virgental hin.

Die optischen Eigenschaften der Chlorite wurden mit den Angaben von WINCHELL⁶⁹ und von TRÖGER⁶³ verglichen. Nach den Ergebnissen der

röntgenographischen und optischen Untersuchungen lassen sich die fünf untersuchten Chloritgruppen folgendermaßen bestimmen:

1. Der fast farblose, einachsige, positive Chlorit ist ein eisenarmer, Mg-Al-reicher Pennin. Die verhältnismäßig kurze b -Achse (9,18 Å) deutet darauf hin, daß dieser Pennin an der Grenze von di- und trioktaedrischen Chloriten liegt. Das Vorkommen von dioktaedrischen Chloriten wurde von BRINDLEY und GILLERY⁷ beschrieben.

2. Die olivenfarbigen Chlorite enthalten höhere Eisengehalte als die farblosen und wurden als Pennin-Prochlorit ($2V < 10^\circ$) und als Prochlorit ($2V$ bis 20°) bestimmt.

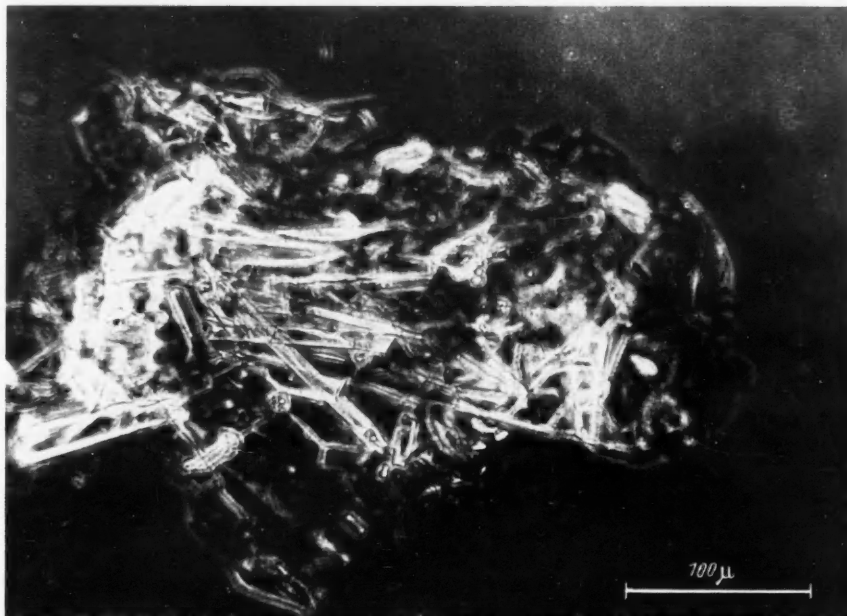


Abb. 6. Ein Muskovitblättchen (dunkel) verwachsen mit Chlorit (helle Leisten). Phasenkontrastbild

3. Die hellen, blau-grünen Chlorite sind Mg-reiche Varietäten. Die auffallend zart-bläulichen Farben treten oft bei den verwitterten Biotiten auf.

4. Die dunkelgrünen Chlorite zeigen auffallende grün-blaue Interferenzfarben. Nach WINCHELL⁶⁹ entstehen die Interferenzfarben dadurch, daß die Chlorite für einen Teil des Lichtspektrums isotrop, für den anderen Teil anisotrop sind. Die dunkelgrünen Chlorite sind ebenfalls optisch positiv, d. h. Mg-reich.

Die Chlorit-Glimmer-Verwachsungen sind sehr häufig, und die Gehalte an beiden Komponenten zeigen große Schwankungen. In einigen Blättchen kann man die Verwachsungen Chlorit-Muskovit und Chlorit-Biotit optisch feststellen. Abb. 6 zeigt ein Muskovitblättchen ($n_\beta = 1,595$, $2V = 48^\circ$), welches mit hellgrünem leistenförmigen Chlorit verwachsen ist. Die Einkristall-Texturaufnahme von diesem Blättchen bestätigte die optischen Beobachtungen. Die Chloritkomponente, welche starke Basisreflexe auf der Röntgenaufnahme zeigte, wurde als Pennin bestimmt.

Die Chlorite vom Virgental enthalten sehr zahlreiche Einschlüsse von Rutilnadeln.

F. Einkristall-Röntgenaufnahmen

I. Die Laue-Methode mit der Kegelkamera nach BRAITSCH

Die Laue-Methode gibt eine erste Übersicht über die verschiedenen Glimmermodifikationen.

MAUGUIN⁴⁸, der die erste Bestimmung der Glimmerstruktur nach der Laue-Methode durchführte, verwendete einen ebenen Film. Dieses Verfahren wurde hier nicht angewendet, weil sich zeigte, daß mit einer kegelförmigen Kamera nach BRAITSCH (noch unveröffentlichte Arbeit) mehr Reflexe registriert werden können und weil in diesem Fall die jeweils interessierenden Stellen des Präparates exakt ausgeblendet werden können. Die Reflexe auf den ausgebreiteten Kegelfilmen sind durch zwei Polarkoordinaten festgelegt:

p = Abstand Primärstrahl \rightarrow Reflex,

ε = Meridianwinkel von einer Bezugsrichtung (z. B. der Spur der Symmetrieebene des Diagramms) bis zum Reflex.

Wegen der Kegelform ist ε verkleinert um den Faktor 2. Diese Verkleinerung des Meridianwinkels erschwert allerdings die Feststellung der Symmetrie, verglichen mit dem ebenen Film. Die Glanzwinkel wurden mit Hilfe eines Nomoogramms bestimmt (BRAITSCH, noch unveröffentlichte Arbeit).

Auf eine Indizierung der Laue-Aufnahmen wurde verzichtet, weil mit dieser Methode nur die einzelnen Strukturgruppen festgestellt werden sollten (ein-, zwei- und dreischichtige Glimmer), was leicht möglich war und durch Weissenberg-Aufnahmen bestätigt wurde (s. unten).

Außerdem gelang es mit der Laue-Methode den ungefähren Verwitterungszustand der Glimmer zu bestimmen. Die Proben für spezielle Strukturuntersuchungen mit der Weissenberg-Kamera (s. S. 34) wurden auf Grund der Ergebnisse der Laue-Methode ausgewählt.

Die mit der Kegelkamera untersuchten Glimmerblättchen zeigen auffallende Unterschiede in bezug auf die Lage der Reflexe auf den geraden Hauptzonen [hh0] und [3h h 0].

Diese Reflexe erscheinen aber im Bereich der großen Glanzwinkel, die auf ebenen Laue-Aufnahmen kaum mehr meßbar sind. Die charakteristischen Reflexe sind für die verschiedenen Modifikationen in Tabelle 6 zusammengestellt:

Tabelle 6

Modifikation	Glanzwinkel		
Einschichtige Biotite . . .	71,3°		77,8°
Zweischichtige Muskovite .	73,3°	76,2°	79,5°
Dreischichtige Muskovite .	73,0°	75,0° 77,0°	79,3°

Man sieht aus dieser Tabelle 6, daß im Glanzwinkelbereich 2θ (CuK α) = 73—79° beim dreischichtigen Muskovit vier Reflexe (der erste und vierte stärker), beim zweischichtigen Muskovit nur drei (der mittlere schwächer), bei einschichtigem Glimmer dagegen nur zwei Reflexe auftreten.

Der Abstand der Reflexe $2\theta = 71^\circ$ und $2\theta = 78^\circ$ ist beim Biotit etwas kleiner als bei den Muskoviten, weil die Elementarzelle der Biotite etwas größer ist.

Bei den Kegelaufnahmen nach BRAITSCH wurden ein-, zwei- und dreischichtige Biotite und zwei- und dreischichtige Muskovite gefunden. Einschichtige Muskovite konnten nicht festgestellt werden.

Die frischen Muskovite geben noch punktförmige Reflexe. Muskovitblättchen auf dem Buntsandstein, S_u , Freden, zeigen ausgelängte Röntgenreflexe, die wahrscheinlich durch Verbiegungen oder Verdrehungen und kleine Spaltrisse hervorgerufen sind.

Es wurde versucht an einem Muskovitblättchen, das gegen Quarzkörnchen stark gedrückt wurde, derartige Verbiegungen zu erzeugen. Die Kegelaufnahme von diesem Blättchen vor und nach der Behandlung zeigte deutlich, daß die ausgelängten Reflexe durch Verbiegungen entstehen können.

Der Biotit ließ sich von den Muskoviten sofort unterscheiden durch geschwärzten Untergrund, da mit $\text{CuK}\alpha$ -Strahlung gearbeitet wurde.

Die Laue-Methode ist sehr empfindlich, wie folgender Versuch zeigt: Eine sehr stark verwitterte (baueritisierte) Probe, mit $n = 1,535$, optisch fast isotrop außer wenigen schwach anisotropen Flecken, wurde vergeblich dreimal mit einer Texturkamera untersucht. Auf den Aufnahmen waren keine Reflexe zu sehen. Mit der Kegelkamera hergestellten Aufnahmen zeigten noch sehr schwache zerstreute Reflexe, die auf heterogenen Blättchenzerfall hinweisen (d. h. das Blättchen ist entlang den Spaltrissen schon ganz verwittert, die einzelnen inneren Teile sind noch doppelbrechend und geben schwache Röntgenreflexe. Nur zwei solcher Blättchen wurden gefunden. Abb. 9 zeigt ein Blättchen bei gekreuzten Nicols). Nach den oben beschriebenen charakteristischen Röntgenreflexen wurde dieses Blättchen als ein stark verwitterter Muskovit bestimmt.

II. Einkristallaufnahmen mit der Weissenberg-Kamera

1. Experimentelles

Die Äquator-Schicht- und 1-Schicht-Weissenberg-Aufnahmen wurden hergestellt, um die Struktur der einachsigen Muskovite zu prüfen und um zu sehen, ob diese Methode für die Untersuchung von stark verwitterten Biotitblättchen, die im Mikroskop inhomogen erscheinen, geeignet ist.

Die Glimmerblättchen wurden um die a -Achse gedreht. Die Justierung der Präparate erfolgte mit Hilfe der Schwenkaufnahmen ($\pm 15^\circ$) (nach KRATKY und KREBS⁴²) in zwei Richtungen: mit dem Primärstrahl parallel zu (001) bzw. senkrecht zu (010), und senkrecht zu (001). Aus den Schwenkaufnahmen wurden die c - und b -Abstände bestimmt, aus Drehaufnahmen wurden die a -Abstände berechnet. Die Intensität der Röntgenreflexe bei den frischen Glimmerblättchen nimmt mit abnehmender Blättchendicke ab. Die Belichtungszeit muß proportional der Blättchendicke verlängert werden.

Die Aufnahmen wurden mit $\text{CuK}\alpha$ -Strahlung, Ni-Folie durchgeführt.

2. Ergebnisse

a) Die einachsigen Muskovite (Abb. 7). *Raumgruppe*: $D_3^3 - C_{3,12}$ (HEINRICH und Mitarbeiter²⁹, YODER und EUGSTER⁷³) oder $C_{2h}^6 - C_{2/c}$ (vgl. AXELROD und GRIMALDI¹). Dreischichtige Modifikation.

Gitterkonstanten: $c_0 = 30,1 \text{ \AA}$, $a_0 = 5,2 \text{ \AA}$ ($b_0 = a/\sqrt{3} = 9,0 \text{ \AA}$).

Einachsige Muskovite: ein dickes Blättchen (etwa 1,5 mm \varnothing , 40 μ dick, Virgental) und ein dünnes Blättchen (etwa 1 mm \varnothing , 8 μ dick, Duderstadt) zeigen charakteristische (0kl)- und (1kl)-Reflexe der dreischichtigen Modifikation (vgl. HENDRICKS und JEFFERSON³², AXELROD und GRIMALDI¹ und SMITH und YODER⁶⁰). Die Gitterabstände stimmen mit den Angaben von AXELROD und GRIMALDI¹ gut überein. Der Unterschied zwischen den Muskovititen vom Virgental bzw. von Duderstadt (Buntsandstein) und dem Muskovit aus Sultan Basin besteht darin, daß dieser einen kleinen Achsenwinkel hat, während jene einachsige sind.

Die (0kl)-Reflexe des Muskovites aus dem Virgental sind verdoppelt und etwas diffus. Nach SMITH und YODER⁶⁰ weisen die „schwalbenförmigen“ Reflexe auf Verzwillingung hin.

Der einachsige Muskovit von Duderstadt zeigt diffuse und ausgelängte (021)-Reflexe, die nicht verdoppelt sind. Die (0kl)- und (001)-Reflexe sind noch deutlich und ungefähr von der gleichen Intensität.

b) Der zweiachsige Biotit aus dem Virgental.
Raumgruppe: C_s^3 —Cm oder C_{2h}^3 . Einschichtige Modifikation.

Gitterkonstanten: $a_0 = 5,3 \text{ \AA}$, $b_0 = 9,3 \text{ \AA}$, $c_0 = 10,2 \text{ \AA}$. $\beta = 100^\circ$.

Die (0kl)-Reflexe des Biotits weisen auf eine einschichtige Glimmermodifikation hin. Die Reflexe sind stark, etwas mehr diffus als die daneben abgebildeten Reflexe des dreischichtigen Muskovites, aber noch deutlich voneinander getrennt. Der einschichtige Biotit unterscheidet sich von dem dreischichtigen Muskovit durch das Fehlen des zweiten Basisreflexes (der erste Basisreflex ist durch den Primärstrahlfänger verdeckt), durch die Abstände der (0kl)-Reflexe und durch den Abstand „b“. Das Biotitdiagramm zeigt noch schwache Basisreflexe von Chlorit.

c) Einachsiger, gebleichter Biotit von Duderstadt. Raumgruppe: C_{2h}^6 —C2/c. Zweischichtige Modifikation.

Gitterkonstanten: $a_0 = 5,3 \text{ \AA}$, $b_0 = 9,2 \text{ \AA}$, $c_0 = 20,1 \text{ \AA}$. $\beta = 95^\circ$.

Die (0kl)-Reflexe des Biotites weisen auf die zweischichtige Modifikation hin. Die (021)-Reflexe sind deutlich schwächer als die (001)-Reflexe. Die verwaschenen und breiten (021)-Reflexe weisen auf Verwitterung bzw. auf eindimensionale Fehlordnung hin. Eine Verbreiterung der Reflexe kann auch durch mechanische Beanspruchung entstehen sowie durch Verbiegungen und Spaltrisse.

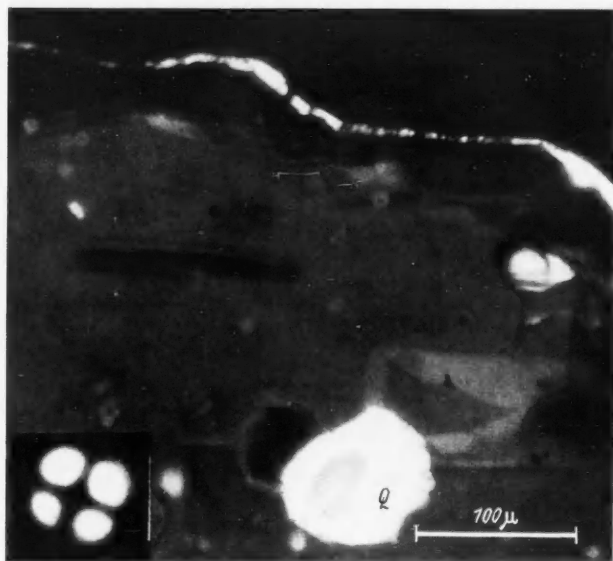


Abb. 7. Einachsiger Muskovit (Virgental) bleibt bei gekreuzten Nicols dunkel. Q Doppelbrechende Quarzeinschlüsse. Unten links: Konoskopisches Bild von diesem Blättchen (einachsige negativ)

Der zweischichtige Biotit unterscheidet sich von dem dreischichtigen Muskovit durch das Fehlen des zweiten Basisreflexes. Die Abstände und Intensitäten der (0kl)-Reflexe auf dem Biotit- und Muskovitdiagramm sind auch verschieden.

d) Einachsiger, sehr stark verwitterter und gebleichter Biotit von Duderstadt.
Raumgruppe: Unbestimmbar wegen der diffusen stabförmigen Reflexe. Wechsellagerungsstruktur von Biotit und quellfähigem Mineral (trioktaedrischem Montmorillonit?).

Gitterabstände: Biotit $c = 10,1 \text{ \AA}$, $b = 9,20 \text{ \AA}$, $a = 5,3 \text{ \AA}$. „Montmorillonit“: $c = 14,77 \text{ \AA}$, $b = 9,32 \text{ \AA}$, $a = 5,3 \text{ \AA}$.

Das verwitterte Blättchen mit Wechsellagerungsstruktur von „Montmorillonit“ enthält noch kleine Reste von Biotit und hat die Form eines Biotitblättchens



Abb. 8. Weissenberg-Aufnahme. 0-Schicht von einem verwitterten Biotit. (061)-Reflexe treten als zwei parallele, gelängte Reflexe auf. Die Basisreflexe (001) weisen auf zwei Minerale hin: stärkere Reflexe mit mittlerem Basisabstand von $14,77 \text{ \AA}$ auf ein montmorillonitähnliches, trioktaedrisches Mineral (mit $b = 9,32 \text{ \AA}$), die schwächeren Reflexe sind von Biotit (mit $b = 9,2 \text{ \AA}$).

mit auffallender Schichtung nach (001). Er zeigt viele kleine Punkte (1μ) auf der Oberfläche. $n\gamma = 1,750-1,575$, $n\gamma - n\alpha = 0,017$. Das Blättchen ist sehr „weich“. Beim Herstellen der Röntgenpräparate (besonders beim Ummontieren) zerfällt es in kleine Bruchstücke. Die Röntgenreflexe solcher verwitterten Blättchen sind sehr breit, verwaschen und ausgelängt, wahrscheinlich durch mosaikartige Struktur und durch Zwischenschichtwasser.

Auf der Weissenberg-Aufnahme (Abb. 8) zeigen diese Blättchen sehr verwaschene Basisreflexe und lange Stäbe die den (0k0)- und (hk0)-Lagen entsprechen. Der (060)-Reflex ist stärker als der (020) und (040)-Reflex, der letzte ist besonders schwach und kaum sichtbar. Der (060)-Stab von Biotit (mit größerem 2 θ -Wert) ist schwächer als der (060)-Stab von „Montmorillonit“.

Auf den Schwenkaufnahmen von diesen Blättchen tritt ein starker Basisreflex mit $d = 14,77 \text{ \AA}$ auf. Dieser Reflex ist z. T. durch den Primärstrahlfänger verdeckt. Nach der Behandlung mit Glyzerin vergrößert sich der Basisabstand bis auf $31,5 \text{ \AA}$.

Der größere b -Abstand in der Montmorillonitkomponente weist auf die Anwesenheit von zweiwertigem Eisen in der Oktaederschicht hin.

Der erste Basisreflex ist in den mit Glyzerin getränkten Proben schlecht zu unterscheiden, weil die Untergrundschwärzung hoch ist. Der zweite Basisreflex ($d = 15,5 \text{ \AA}$) tritt deutlicher auf.

Diese Beispiele haben gezeigt, daß man sehr stark verwitterte Biotite mit der Weissenberg-Methode untersuchen kann. Leider konnte keine größere Zahl von Versuchen ausgeführt werden. Es würde sehr interessant sein, die Reflexintensitäten der Röntgenaufnahmen von Biotiten in verschiedenen Verwitterungsstadien zu messen und die Kristalle auch um mehrere Achsen zu drehen.

Meistens findet man Biotitblättchen, die noch nicht so stark verwittert sind wie in dem letzten Beispiel gezeigt wurde. Diese Blättchen bestehen hauptsächlich aus Biotit mit kleinen Mengen von Chlorit oder von quellfähiger Substanz, die sich wahrscheinlich an der Oberfläche und zwischen den (001)-Spalt- rissen bilden.

e) Ein zweiachsiger Biotit mit langen nadelförmigen Einschlüssen ergab sehr schwache Biotit- und Chlorit-Reflexe auf einer Weissenberg-Aufnahme. Auf den Drehaufnahmen von diesem Blättchen traten punktförmige Reflexe von Hämatit und Goethit auf. Die nadelförmigen Einschlüsse in diesem Biotitblättchen sind hauptsächlich nach den Richtungen (010) und (110) des Biotits eingelagert.

G. Diskussion der Ergebnisse mit Berücksichtigung der Unterschiede zwischen den frischen und verwitterten Glimmern

Aus den Ergebnissen der optischen Untersuchungen der Glimmer geht hervor, daß Muskovite und Biotite in Sanden und Sandsteinen in verschiedenen Verwitterungszuständen vorkommen. Die Lichtbrechung und die Doppelbrechung der angewitterten Muskovite ist niedriger als die der frischen. Nach BURCKHARDT¹² liegt die Lichtbrechung der frischen Muskovite (in Abhängigkeit vom Eisengehalt) zwischen $n_\beta = 1,58$ — $1,62$. Die Lichtbrechung $n_\beta < 1,58$ deutet auf eine Verwitterung des Muskovites hin.

Die verwitterten Biotite lassen sich leicht von den frischen durch die Änderung der Farbe und des Glanzes unterscheiden. Die Licht- und die Doppelbrechung nehmen mit abnehmendem Eisengehalt ab. Es wurden Lepidomelane (eisenreiche Biotite) und Meroxene (Fe-Mg-Biotite) gefunden sowie stark abgebaute, z. T. gebleichte Biotite mit niedrigerer Lichtbrechung als die von frischen Meroxenen. Nach den Ergebnissen der halbquantitativen Spektralanalyse enthalten solche verwitterten Biotite etwa 30% weniger Eisen und Kalium als die frischen. Aus den aufgeblättern Muskoviten ist etwa 20% des Kaliumgehaltes abtransportiert.

Die Ergebnisse der röntgenographischen Untersuchungen (vgl. Tabelle 7) zeigen, daß die zweiachsigen, zweischichtigen Muskovite (2M) und die einschichtigen, fehlgeordneten Biotite am häufigsten sind. Einachsige, dreischichtige Muskovite sowie zwei- und dreischichtige Biotite sind seltener.

Die Bestimmung der Glimmermodifikationen war nur bei solchen Glimmern möglich, bei denen die hkl-Reflexe getrennt waren. Mit zunehmendem Verwitterungsgrad des Glimmerblättchens nimmt die Schärfe und die Intensität der Röntgenreflexe ab, bis die hkl-Reflexe ganz zurücktreten.

Tabelle 7. Angaben über untersuchte Glimmer

a) Muskovite

Probe: Fundort, geologisches Alter, Eigenschaften	n_{β} $n_{\gamma} - n_{\alpha}$ $2V^{\circ}$	Röntgenographische Methoden					Ergebnisse	
		Textur- Auf- nahmen Probe Nr.	Einkristall-Aufnahmen				Min.	Ver.
			Textur	Dreh	Kegel	Weiss, Schw.		
1	2	3	4	5	6	7	8	9
<i>Nexö-Sandstein, Kambrium, Bornholm, Steinbruch Frederik.</i> Muskovit angereichert an den Schichtflächen	1,58—1,59 0,02—0,03 30—40° selten 0°	61			+		2sM(b)	
<i>Nexö-Sandstein, gelbes Zer- setzgs.-Produkt der Feldsp. und Biotite. Feinkörnig, mit Bruchstücken von Muskovit</i>	um 1,535	59 60					M	Q, Ch, Fe, C
<i>Risebaek, Bornholm.</i> Sandige Lagen im Keuper- mergel. Muskovit, abgeblättert	1,58—1,59 0,02—0,03 40—50° selten 1—5°	62			+		2sM(b)	3sM 1-achs. C, Ch.
<i>Buntsandstein, Su, Freden a. d. Leine, Muskovit</i> fast isotrop, selten. Ein Blättchen zeigt verwaschene Interferenzfigur	1,535 (20°)	(F—0)	+		+		2sM ? (v)	
Hauptmenge der Muskovite aus Su, Freden a. d. Leine (Spektralanalyse)	1,57—1,585 0,03—0,04 20—40°	40	+	+	+		2sM(b)	
Muskovit aus Su, Freden a. d. Leine, selten	1,583 0,02 0°	(F—1)			+		3sM(b)	
<i>Duderstadt, Su.</i> Hauptmenge Muskovite	1,58 0,03 0,02 30—40°	41	+		+		2sM(b)	
<i>Duderstadt, Su.:</i> Muskovite, selten	1,58 0,02 0°	(D—1)		+	+	+	3sM(b)	
<i>Buntsandstein, Sm, Karlshafen Solling Platten.</i> Muskovit aus glimmerreichen Lagen	1,585 0,03—0,04 30—40°	65			+		2sM(b)	
<i>Nörten, bei Schloß Hardenberg, Buntsandstein, Sm.</i> Muskovit aus Sm, am Kon- takt mit tonigem Sand- steinböden. Muskovit mit Spaltrissen	1,57—1,58 0,03 45°	57 58	+	+	+		2sM(b) 2sM(b)	K, Q, CH
<i>Reinhausen-Bremke.</i> <i>Buntsandstein, Sm.</i> Muskovit mit kleinen Men- gen von verwitterten Bio- tit aus Sandsteinbänken	1,575 0,02—0,03 30—40°	42					2sM	Ch B

Tabelle 7 (Muskovite, Fortsetzung)

Probe: Fundort, geologisches Alter, Eigenschaften	n_{β} $n_{\gamma}-n_{\alpha}$ $2V^{\circ}$	Röntgenographische Methoden					Ergebnisse	
		Textur- Auf- nahmen Probe Nr.	Einkristall-Aufnahmen				Min.	Ver.
			Textur	Dreh	Kegel	Weiss. Schw.		
1	2	3	4	5	6	7	8	9
<i>Virgental, Hohe Tauern.</i>								
<i>Muskovit aus einem Bachsand</i>								
H—1. Frische einheitliche Blättchen, 50% aller Muskovite	1,59—1,60 0,04 48°	45	+	+	+		2sM (f)	P
H—2. Wie E—1, nur mit kleineren Achsenwinkel. 15% aller Muskovite	1,585—1,59 0,03 —0,04 25°	47	+	+	+		2sM (f)	Ch
H—3. Wie H—1 und H—2, nur mit chloritisiertem Rande. 2% aller Muskovite.		52	+	+	+		2sM (p)	Ch
H—4. Wie H—1, mit schuppigem Aussehen, 13% aller Muskovite		48	+	+	+		2sM (p)	P
H—5. Wie H—4, mosaikartige Struktur, 6% aller Muskovite		49	+	+	+		2sM (p)	3sM
H—6. Einachsige, 10% aller Muskovite. (Spektralanalyse)	1,592 0,04 0°	51	+	+	+	+	3sM (f)	Ch
H—7. Wie H—6, nur schwächere Doppelbrechung 4% aller Muskovite.	1,590 0,03	50	+	+	+		3sM (f)	
H—8. Muskovit mit gelben Krusten	1,585 0,03 35°	46	+	+	+		2sM (p)	Fe, Q Ch
<i>Vergleichsproben aus Mineralogischem Museum der Universität Göttingen</i>								
XIV. Muskovit, frisch (BÖHMEKE 1947)	1,598 0,045	53					2sM	
XIVa. Muskovit nach Behandlung mit H ₂ O (3 μ bis 60 μ \varnothing) (BÖHMEKE 1947)		54					2sM	
<i>Hydromuskovit, Kärnten</i>								
Zersetzungsprodukt von Pegmat. Feldspat. Nr. 852	1,560	44					2sM (d)	
1. Schüppchen 1—10 μ \varnothing							1sM?	
2. mit Bruchstücken von Muskovit, bis 50 μ \varnothing	1,585 40°	43				+	2sM 1sM?	
<i>Hydrobiotit, braun, Nr. 802.</i>								
Rote und grüne Interferenzfarben (vgl. Röntgenaufnahme Abb. 6)	1,592 0,03 25°	3 4	+	+	+		HB (d)	
<i>„Biotit“, Magnet Cove, Nr. 25796, grau</i>								
	1,575 um 0,01 0°	2	+	+	+		V (f)	
<i>Biotit, Nr. 10, braun</i>								
	1,635 0,035 0°	5		+			1sB (f)	

Tabelle 7 (Fortsetzung)

b) Biotite

Probe: Fundort, geologisches Alter, Eigenschaften	n_{β} $n_{\gamma}-n_{\alpha}$ $2V^{\circ}$	Röntgenographische Methoden					Ergebnisse	
		Textur- Auf- nahmen Probe Nr.	Einkristall-Aufnahmen				Min.	Ver.
			Textur	Dreh	Kegel	Weiss. Schw.		
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Riseback, Bornholm, sandige Lagen im Keupermergel. Grüner Biotit mit verwitter- ter Oberfläche	1,62—1,59 0,02—0,03 0—10°	63					1 sB (v)	V Ch
Buntsandstein, Su. Freden a. d. Leine. Brauner Biotit, frisch. Eini- ge Blättchen verwittert (vgl. Abb. 8a).	1,63—1,65 0,04	30	+		+		1 sB (b)	HB Fe
Braun-gelber Biotit. + N grau.	1,605 0,015 0°	(F _{br} —1)	+	+	+		1 sB (b)	Fe
Hell-brauner Biotit, + N bräunlich	1,610 0,02 0°	(F _{br} —2)	+	+	+		1 sB (v)	
Rot-brauner Biotit	1,635 0,04 0°	(F _{br} —6)	+	+	+		2 sB (b)	
Grau-grüne Biotite, frisch, nur einige Blättchen ver- wittert (vgl. Abb. 8a)	1,63 0,03 0°	31					1 sB (b)	
Hell grau-grüner Biotit	1,605 0,01 0°	(F _{gr} —1)	+		+		1 sB (b)	
Hell-grüner Biotit, mit Einschlüssen	1,61 0,015 10°	(F _{gr} —2)	+		+		1 sB	
Grün-braune Biotite (vgl. Kurve „Braun-grün“ Abb. 8a).	1,63—1,60 0,02—0,03 0—15°	32					1 sB (v)	Fe HB CH
Grau-grüne Biotite mit schwarzen Einschlüssen (Einschlußreiche Oberfl.)	1,62—1,64 0,04—0,02 0—10°	33					1 sB (v)	Ch HB Fe
Grau-grüne Biotite, mit Einschlüssen (trübe)	1,62—1,64 0,03—0,02 0—10°	34					1 sB (v)	Ch HB
Braune Biotite, mit eisen- reichen Einschlüssen (Einflußreiche Oberfläche) Vgl. Abb. 8b.	um 1,625 0,02—0,03 0°	35					1 sB (v)	Ch HB Fe
Braune Biotite, mit Ein- schlüssen (vgl. „trübe Biotite“ (Tabelle 2).	um 1,63 0,03 0°	36					1 sB (v)	CH HB, Fe
Hell gelb-brauner Biotit, mit nadelförmigen Ein- schlüssen	1,595 0,01—0,005 25°	(F _{br} —3)		+	+	+	1 sB (v)	Fe CH

Tabelle 7 (Biotite, Fortsetzung)

Probe: Fundort, geologisches Alter, Eigenschaften	n_β $n_\gamma - n_\alpha$ $2V^\circ$	Röntgenographische Methoden					Ergebnisse	
		Textur- Auf- nahmen Probe Nr.	Einkristall-Aufnahmen				Min.	Ver.
			Textur	Dreh	Kegel	Weiss, Schw.		
1	2	3	4	5	6	7	8	9
<i>Buntsandstein, Su, Duderstadt</i> „Baueritisierter“ Biotit, mit eisenhaltigen Ein- schlüssen	um 1,560 „isotrop“	(D—0)				+	Fe	B
Hellgrüner Biotit, im auf- fallendem Licht filzig- weiß, mit Fettglanz	1,575 0,02 0°	(D _{gr} —1)	+	+	+	+	Mo (v)	B
Hellgrüner Biotit (abgeblättert)	1,610 0,02 10°	(D _{gr} —2)		+	+		1sB (v)	
Dunkelgrüner Biotit, mit Glasglanz	1,620 0,025	(D _{gr} —3)	+	+	+		1sB (v)	Ch
Hellgrauer Biotit, mit Glasglanz	1,610 0,015 0°	(D—1)		+	+	+	1sB (v)	
Hellgrüner Biotit, mit eisen- haltigen Einschlüssen, Glasglanz	1,600 0,01 5°	(D—4)	+	+	+		1sB (v)	Fe
Hellgelb-brauner Biotit, fil- zig-weiß im auffallenden Licht, Fettglanz (Abb. 14)	1,575 0,02 0°	(D _{br} —1)	+	+	+	+	Mo (v)	B
Zitronengelber Biotit, mit Glasglanz	1,600 0,015 10°	(D _{br} —2)	+	+	+		2sB (v)	Ch
Haselnußfarbiger Biotit, mit Glasglanz	1,590 0,01 0°	(D _{br} —3)	+	+	+	+	2sB (d)	
Hellbrauner Biotit, mit eisenhaltigen Ein- schlüssen	1,600 0,015 0°	(D _{br} —4)			+		1sB (v)	
Brauner Biotit mit Ein- schlüssen	1,62—1,60 0,02 0°	(D _{br} —5)			+		1sB (v)	
Rotbrauner Biotit mit Glas- glanz	1,640 0,045 0°	(D _{br} —6)	+		+		2sB (b)	
Brauner Biotit, im auffallen- den Licht rot-braun, mit Metallglanz	1,635 0,03 5°	(D _{br} —7)	+	+	+		1sB (v)	
Brauner Biotit, fast opak, mit Seidenglanz	1,640 0,04 0°	(D _{br} —8)		+	+		1sB (d)	Fe Ch
<i>Buntsandstein S_m Nörten- Hardenberg</i> Hellbrauner Biotit, mit Seidenglanz.	1,615 0,025	(N—1)	+		+		1sB (v)	V

Tabelle 7 (Biotite, Chlorite, Fortsetzung)

Probe: Fundort, geologisches Alter, Eigenschaften	n_{β} $n_{\gamma}-n_{\alpha}$ 2 V°	Röntgenographische Methoden					Ergebnisse	
		Textur- Auf- nahmen Probe Nr.	Einkristall-Aufnahmen				Min.	Ver.
			Textur	Dreh	Kegel	Weiss, Schw.		
1	2	3	4	5	6	7	8	9
<i>Biotite aus dem Bachsande von Virgental, Hohe Tauern</i> Hellrußbrauner Biotit, 5% aller Biotite	1,585 0,02 0—5°	(H—a)	+	+	+		1,2sB (d)	HB
Hellbraune Biotite, 3% aller Biotite	1,595 0,015 0°	(H—b)	+	+	+		1,2sB	HB
Hellbraune Biotite, mit grünen Interferenzfarben. 17% aller Biotite	1,60—1,61 0,025 10—30°	(H—ab) 8	+	+	+		1,2sB (v)	Ch
Braune Biotite, 20% aller Biotite	1,62—1,63 0,03—0,04 0°	(H—c) 9	+	+	+		1sB (f)	
Rotbraune Biotite, im auf- fallenden Licht kupfer- rot mit Metallglanz, 40% aller Biotite	1,64—1,65 0,04—0,05 30—40°	(H—d) 14	+	+	+	+	1sB (d)	Ch HB
Biotit, fast opak Im auf- fallenden Licht schwarz, mit Fettglanz. 14% aller Biotite	1,63—1,64 0,03 0—30°	(H—e) 7		+	+		1sB	Ch
Dunkelgrüne Biotite, mit Glasglanz. 1% aller Biotite	1,635 0,04 0°		+		+		3sB (f)	
Biotite verwachsen mit faserigem, grünem Chlorit	1,63 0,025 0—20°	15		+	+		B, Ch	
Biotite mit gelben Krusten	1,615 0,01—0,02 0—20°	16		+	+		CH B	Fe Q
<i>Chlorite aus dem Bachsand vom Virgental, alle optisch posi- tiv, $n_{\gamma}-n_{\alpha} = 0,01$ bis 0,015.</i>								
Fast farblose Chlorite.	1,595 0°	17	+	+	+		Ch	
Hell olivenfarbige Chlorite	1,605 0—10°	18	+	+	+		Ch	
Olivendarbige Chlorite	1,60—1,61 20—30°	19		+	+		Ch	
Blau-grüne Chlorite	1,59—1,60 bis 30°	20	+	+	+		Ch	
Dunkelgrüne Chlorite	1,610 10—20°	21	+	+	+		Ch	

Erläuterung zu Tabelle 7: Spalte 7. „Weiss. Schw.“ = Weissenberg- und Schwenk-Aufnahmen; Spalte 8. „Min.“ = Mineral (Hauptbestandteil); Spalte 9. „Ver.“ = Verunreinigung (Spuren), (kleine Mengen); M = Muskovit, B = Biotit; Ch = Chlorit; Mo = Montmorillonit (quellfähiges Mineral mit Basisabstand über 14 Å); C = Kalkspat; Fe = Eisen-

oxyde (Hämatit, Magnetit), Eisenhydroxyde (Goethit, Rubinglimmer); K = Kaolinit, P = Paragonit, Q = Quarz; V = Vermiculit; HB = Hydrobiotit (stark verbreiterte Biotit-Basisreflexe über 10,2 Å); 2s vor „M“ oder „B“ = zweischichtige Modifikation; 3s vor „M“ oder „B“ = dreischichtige Modifikation, in Abweichung von der im Text gebrauchten Bezeichnung „M“ (s. S. 4). In der Klammer hinter „M“ ist der Verwitterungszustand der Probe und die Art der Röntgenreflexe angegeben: (b) = Probe verbogen, mit Spaltrissen; Röntgenreflexe ausgelängt; (v) = Probe stark verwittert, Röntgenreflexe schwach, einige fehlen; (d) = diffuse Reflexe; (p) = schuppige oder mosaikartige Aggregate. Art der Röntgenreflexe: mehrere scharfe Punkte, ähnlich wie auf Debye-Scherrer-Aufnahmen von grobkörnigen Proben; (f) = frische Probe, scharfe punktförmige Röntgenreflexe; Probe Nr., ohne Klammer = Nummer der Texturaufnahme; Probe Nr., mit Klammer = Nummer der Einkristallaufnahme; + = Kreuz in entsprechender Spalte zeigt die angewandte Methode.

Diffuse Röntgenreflexe wurden auf den Weissenberg-Aufnahmen aller Biotitmodifikationen von HENDRICKS und JEFFERSON³² beobachtet. Nach HENDRICKS³⁰ lassen sich die diffusen Reflexe (von frischen Biotiten) durch statistische Verschiebungen der Schichtpakete um $\frac{1}{3} b_0$ erklären, weil die hkl-Reflexe mit $k = 3$ bei seinen Biotiten deutlich und sogar verstärkt waren. Da einige Biotite aus den Sandsteinen nur h00, 0k0, 00l und hk0-Reflexe zeigen, die diffus und verbreitert sind (ebenfalls mit $k = 3$), läßt sich diese Unordnung bei den Biotitgittern durch statistische Verschiebung der Schichtpakete um $\frac{1}{3} b_0$ nicht erklären. Diese Biotite haben ein völlig fehlgeordnetes Gitter mit einer kleinen (einschichtigen) Pseudo-Elementarzelle (vgl. HENDRICKS³⁰).

Die oben beschriebenen diffusen Reflexe der Biotite aus den Sandsteinen sind wahrscheinlich durch Zerstörung der Oktaederschicht bzw. durch die statistische Besetzung der Oktaederplätze durch Fe^{++} , Mg^{++} , Fe^{+++} sowie durch leere Plätze bedingt. Die Verteilung der Ionen und vermutlich der Leerstellen in der Oktaederschicht der verwitterten Biotite sollte in einer späteren Arbeit geprüft werden. Darüber gibt es keine genauen Angaben in der Literatur. Abb. 8 zeigt die Art der beschriebenen Röntgenreflexe auf der Weissenberg-Aufnahme des verwitterten Biotites, der sich in ein quellfähiges Mineral umwandelt. Dabei vergrößert sich nicht nur der Basisabstand, sondern auch die b -Achse (doppelte 060-Reflexe). Eine Vergrößerung der b -Achse wird durch Veränderungen in der Oktaederschicht hervorgerufen. Nach den Literaturangaben (HENDRICKS und JEFFERSON³²) haben frische Muskovite ein geordnetes Gitter und zeigen keine diffusen Reflexe auf den Einkristallaufnahmen.

Die Ergebnisse über die Art der Röntgenreflexe und den Verwitterungszustand der Glimmer sind in der zusammenfassenden Tabelle 7 angegeben (vgl. Erläuterung der Tabelle 7). Die frischen Glimmer (f) mit scharfen, punktförmigen Reflexen wurden nur in den Sanden vom Virgental gefunden. Die meisten anderen zeigen entweder diffuse Reflexe (d) oder ausgelängte Reflexe (b). Einige Biotite und ein Muskovit aus dem Buntsandstein sind sehr stark verwittert (v).

Auf der Weissenberg-Aufnahme zeigt der dreischichtige Muskovit aus dem Buntsandstein ausgelängte Röntgenreflexe. LEVINSON⁴³ beobachtete auch ausgelängte Reflexe auf der Weissenberg-Aufnahme des Muskovites aus einem Fireclay. Die ausgelängten Reflexe können durch Verbiegungen sowie durch feine Spaltrisse des Muskovitblättchens entstehen. Muskovitreflexe sind schärfer und weniger diffus als die Biotitreflexe.

Die angewitterten Muskovite sind aufgeblättert und von einem dichten Netz wabenartiger Spaltrisse durchzogen. Diese Spaltrisse lassen sich nach dem Erhitzen auf 1000°C oder nach der Einbettung, solange sie noch z. B. mit Luft gefüllt sind, gut erkennen. Nach dem Erhitzen bilden sich zwischen den (001)- und den wabenartigen Spaltrissen Gläser mit einer Lichtbrechung von $n = 1,48$ und $1,51$. Die Lichtbrechung dieser Gläser gleicht der der Alkali-Kieselsäure- bzw. Rhyolith-Gläser nach WAHLSTROM⁶⁶. GRIM und BRADLEY²⁴ erhitzen Illite bis auf 1400°C . Sie fanden, daß zwischen 800° und 1000°C die Glimmerstruktur der Illite schon völlig zerstört ist. Aus K_2O und aus der Tetraederschicht bildet sich Alkali-Kieselsäure-Glas, und aus der Oktaederschicht ein Spinell, $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$. Nach RINNE⁵⁵ wird die Struktur der Muskovite beim Erhitzen auf 1000°C nicht zerstört, nur der Achsenwinkel verkleinert sich auf 0° .

Die teilweise Verglasung der angewitterten Muskovite deutet auf die Verwitterung und den Abbau der aufgeschlossenen Muskovitoberfläche hin. Diese Beobachtungen über den natürlichen Abbau von Muskovit stimmen mit den experimentellen Ergebnissen von BÖHMEKE² überein.

Die DTA-Kurven der grobkörnigen Muskovite aus dem mittleren Buntsandstein zeigen keine endothermen Reaktionen. Die feinkörnigen Proben, eine von „Hydromuskovit“, Nr. 852, und eine von tonigem Material aus dem Nexö-Sandstein zeigen endotherme Reaktionen bei 100°C und zwischen $500\text{--}700^{\circ}\text{C}$. Wegen der verschiedenen Korngrößen der untersuchten Proben darf man keine Schlüsse aus diesen unterschiedlichen DTA-Kurven ziehen.

1. Die Eigenschaften und die Verwitterung der Muskovite

a) **Frische Muskovite.** $n_{\beta} = 1,584\text{--}1,590$ (Buntsandstein), $n_{\beta} = 1,590\text{--}1,605$ (Virgental), $n_{\gamma} - n_{\alpha} = 0,04$, $n_{\gamma} - n_{\beta} = 0,005$. Die Interferenzfiguren sind deutlich und scharf. Optisch einachsig und zweiachsig negativ.

b) **Angewitterte Muskovite.** $n_{\beta} = 1,57\text{--}1,58$, $n_{\gamma} - n_{\alpha} = 0,03\text{--}0,015$. Die einachsigen und zweiachsigen negativen Interferenzfiguren sind verwaschen und verbreitert.

c) **Stark verwitterte Muskovite** (sehr selten, nur zwei Blättchen unter vielen Tausenden). $n_{\beta} = 1,535\text{--}1,545$ (Rand). $n_{\gamma} - n_{\alpha} = 0$ (Rand), um $0,01$ (Mitte). Die zweiachsigen negativen Interferenzfiguren sind sehr verwaschen und kaum zu erkennen.

Zwischen den frischen und den angewitterten Muskoviten gibt es alle Übergänge. Die angewitterten und die stark verwitterten Muskovite sind aufgeblättert mit deutlichen Spaltrissen nach (001) und mit wabenartigen Spaltrissen senkrecht zu (001). Diese Spaltrisse verglasen nach dem Erhitzen und lassen sich gut erkennen. Durch diese Spaltrisse wird aus der aufgeschlossenen Muskovitoberfläche das Kalium abtransportiert.

Die beiden stark verwitterten Muskovitblättchen bestehen aus völlig isotropen Partien (am Rande und an den Spaltrissen entlang) und aus doppelbrechenden Partien dazwischen, die noch schwache punktförmige Röntgenreflexe zeigen. Diese Blättchen erscheinen im polarisierten Licht heterogen.

Die aufgeblätterten Muskovite kommen häufig in gebleichten Sandsteinen vor, die mit feuchtem tonigem Boden überdeckt sind.

Es wurde ein mit Kaolinit bedecktes aufgeblättrtes Muskovitblättchen gefunden. Ob dieser Kaolinit durch Verwitterung von Muskovit entstanden ist, kann man nicht aus diesem einen Blättchen entscheiden.

Muskovite kommen hauptsächlich in der zweischichtigen und seltener in der dreischichtigen Modifikation vor. Unter den Glimmern aus den Sandsteinen wurden keine einschichtigen- und einschichtig-fehlgeordneten Muskovitmodifikationen beobachtet. In den Proben, die hauptsächlich aus 2M-Muskovit bestehen, ist es sehr schwierig geringe Gehalte an 1Md-Muskovit zu erkennen, weil die verwaschenen 1Md-Muskovitreflexe von den stärkeren 2M-Reflexen z. T. verdeckt werden.

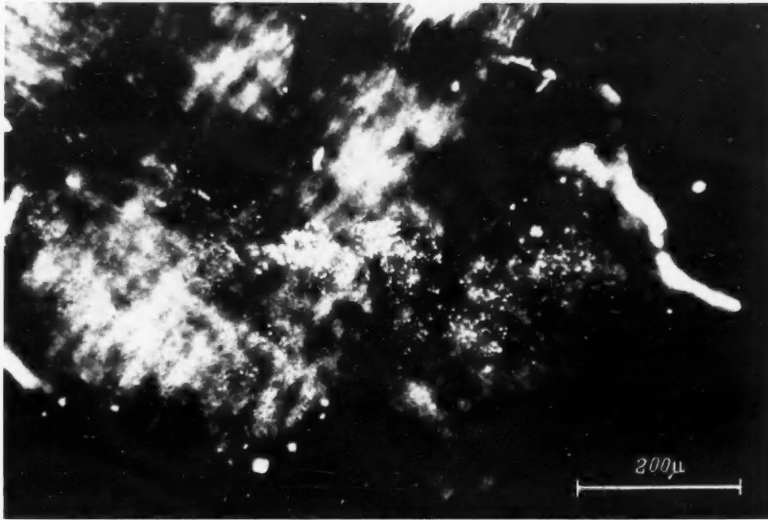


Abb. 9. Ein verwittertes Muskovitblättchen bei gekreuzten Nicols. Die stark verwitterten Teile erscheinen isotrop und bleiben bei gekreuzten Nicols dunkel. Die weniger verwitterten Teile sind doppelbrechend. Das Blättchen ist mit feinkörnigen Einschlüssen von Kaolinit bedeckt (helle Pünktchen)

Die groben angewitterten Muskovitblättchen sind heterogen: Sie bestehen aus unzersetzten Teilen und entlang den Spaltrissen aus abgebauten Partien. Die frischen Teile zeigen 2M-Muskovitreflexe auf den Röntgenaufnahmen. Da diese angewitterten Muskovite keine bemerkenswerten Änderungen der Gitterkonstanten zeigen (z. B. keine Vergrößerung des Basisabstandes), würde die Strukturuntersuchung der verwitterten Komponente nur mit Hilfe der Einkristall-Röntgenaufnahmen möglich sein, und zwar mit der Weissenberg-Methode, wobei die einzelnen Reflexe getrennt werden.

Muskovit-Chlorit- und Muskovit-Paragonit-Verwachsungen kommen häufig in den Sanden aus dem Virgental vor. Sie stammen aus den metamorphen Schiefern der Hohen Tauern. Feine Chloritblättchen auf der Muskovitoberfläche (aus dem Buntsandstein) sind wahrscheinlich im Sediment entstanden, da sie einen Transport kaum hätten überstehen können.

Beim Transport spalten sich die Muskovite nach (001) und werden dadurch immer dünner. Die Größenausdehnung innerhalb der Basisfläche verringert sich dabei kaum. Die Muskovite aus dem Buntsandstein sind viermal dünner

als die aus dem Virgental. Die angewitterten Biotite sind zerbrechlich und zerfallen leicht beim Transport. Die stabileren Muskovite können vielfach umgelagert werden und reichern sich dadurch in den groben Fraktionen der umgelagerten Sandsteine gegenüber den Biotiten an.

2. Die Eigenschaften und die Verwitterung der Biotite

a) Frische Biotite. Die Biotitblättchen zeigen lebhaft braune und grüne Farben. $n_\beta = 1,63-1,65$. $n_\gamma - n_\alpha = 0,04-0,045$. Die Interferenzfiguren sind deutlich und scharf. Hauptsächlich optisch einachsig, seltener zweiachsig negativ.

b) Angewitterte Biotite. Die Biotitblättchen sind durch zahlreiche eisenhaltige Einschlüsse stark getrübt. Im auffallenden Licht rot-braun mit Metallglanz. $n_\beta = 1,62-1,63$. $n_\gamma - n_\alpha = 0,03-0,02$. Einachsige und zweiachsige negative Interferenzfiguren sind verwaschen und verbreitert.

c) Verwitterte Biotite. Helle, grünliche und nuß-braune Blättchen mit Glasglanz. $n_\beta = 1,59-1,61$. $n_\gamma - n_\alpha = 0,02-0,005$. Einachsige und zweiachsige negative, sehr verbreiterte und verwaschene Interferenzfiguren.

d) Stark verwitterte Biotite. Hell-grünliche und hell-gelbliche Blättchen. Im auffallenden Licht weiß, filzig mit Fettglanz. Sehr weich und zerbrechlich. $n_\beta = 1,575-1,590$. $n_\gamma - n_\alpha = 0,02-0,03$. Einachsig negativ oder mit kleinen Achsenwinkeln. Die Interferenzfiguren sind sehr verbreitert und verwaschen.

Zwischen den frischen und den verwitterten Biotiten wurden alle Übergänge beobachtet. Die verwitterten Biotite zeigen deutliche Aufblätterung nach (001) und sind oft mit parallelen Spaltrissen senkrecht zu (001) durchzogen. Wieviel K-Ionen aus den Biotitblättchen weggeführt sind, hängt vom Verwitterungszustand der Blättchen ab. Es dürften zwischen 20% und 50% des gesamten K_2O aus dem Biotit herausgelöst werden.

Die braunen, eisenreichen Biotite sind weniger stabil als die grau-grünen, magnesiumreichen Biotite. Die Mg-reichen Biotite verwittern zu hellgrünen, grau-grünen oder hellbraunen Blättchen (c), die noch keine Erweiterung der Basisabstände zeigen. Sie sind ein-, zwei- oder dreischichtig und geben diffuse Röntgenreflexe auf den Einkristallaufnahmen, die wahrscheinlich durch statistische Verteilung der Leerstellen in der Oktaederschicht nach Abtransport des Eisens entstanden sind.

Die eisenreichen Biotite erscheinen in den ersten Verwitterungsstadien durch die Ausscheidung sehr kleiner, submikroskopischer Einschlüsse opak. In den späteren Verwitterungsstadien scheidet sich Eisen in oxydischen Mineralen auf der Biotitoberfläche ab. Die Farbe der Blättchen ändert sich von braun nach grün durch den Austritt von Eisen aus der Oktaederschicht. Im Auflicht erscheinen diese Blättchen rot-braun, metallisch glänzend. Sie zeigen auf Röntgenaufnahmen schwache Chlorit- oder „Hydrobiotit“-Reflexe neben starken Biotitreflexen. Mit zunehmender Verwitterung werden die „Hydrobiotit“- und Vermiculit-Reflexe stärker und die Biotitreflexe treten zurück. Die Verwitterung greift von den Spaltrissen ausgehend immer tiefer ein. Einen ähnlichen Verwitterungsvorgang beobachtete WALKER⁶⁷ an Biotitblättchen in schottischen Böden. Von WAGER⁶⁵ und WALKER⁶⁷ wurden an Verwitterungsprodukten von größeren Biotitkristallen Basisabstände bis maximal 14 Å gemessen.

In manchen Vorkommen ist der Biotit in ein quellfähiges Mineral umgewandelt. Es handelt sich dabei um Orte, die ständig feucht sind. Bei der Umwandlung des Biotites vergrößern sich der Basisabstand und auch die *b*-Achse, wie auf der Weissenberg-Aufnahme (Abb. 8) ersichtlich ist. Der Basisabstand nimmt von 10,1 Å auf 14,77 Å zu, die *b*-Achse von 9,2 Å auf 9,32 Å. Die Vergrößerung des *b*-Abstandes deutet auf den Umbau bzw. die Zerstörung der Oktaederschicht hin. Schon BUTLER^{13, 14} wollte den Biotitumbau mit der Oxydation des Eisens erklären, konnte es aber an Hand seiner Röntgenaufnahmen nicht nachweisen.

Der stark verwitterte Biotit (d) mit niedriger Lichtbrechung wandelt sich in ein quellfähiges Mineral um. Auf Röntgenaufnahmen von mit Glyzerin getränkten Blättchen zeigen sich neben den schwachen Biotitreflexen verwaschene Reflexe bei 31,1 Å und 15,5 Å. Ähnliche quellfähige Minerale wurden bisher nur in den Tonfraktionen von Sedimenten beobachtet (WALKER⁶⁸, LIPPMANN⁴⁶).

Es wurde folgende Verteilung der verschiedenen Glimmer in den untersuchten Sandsteinen beobachtet:

α) *Nexö-Sandstein, Unterkambrium, Bornholm.* Die glimmerreichen Schichtflächen bestehen hauptsächlich aus aufgeblätterttem, angewittertem Muskovit mit etwas Biotit. Der Biotit ist stark verwittert.

β) *Sandiger Keupermergel, Risebaek, Bornholm.* Fast der gesamte Muskovit ist optisch zweiachsig und stark aufgeblättert. Ungefähr 1% des Muskovites ist einachsig (dreischichtige Modifikation). Der Biotit ist grün. An der Oberfläche wandeln sich die Biotitblättchen zu Vermiculit um. Der Muskovit überwiegt an Menge den Biotit.

γ) *Unterer Buntsandstein, Freden a. d. Leine, und Duderstadt.* Das Glimmerkonzentrat enthält mehr Biotit als Muskovit. Der Muskovit ist größtenteils aufgeblättert und angewittert, seltener frisch oder stark verwittert. Rund 99% sind zweiachsig und etwa 1% einachsig. Biotite kommen in verschiedenen Verwitterungszuständen vor: Frisch bis völlig verwittert, chloritisiert, umgebildet zu quellfähigen Aggregaten oder zu schwach doppelbrechenden Blättchen mit unveränderten Biotitbasisabständen. Sehr stark verwitterte Biotite, die vergrößerte Basisabstände und *b*-Achsen zeigen, sind selten.

δ) *Mittlerer Buntsandstein, Karlshafen, Nörten-Hardenberg, Hann.-Münden, Volkmarshausen, Mariaspring, Reinhausen-Bremke bei Göttingen.* Muskovit ist der Hauptgemengteil der Glimmer in dem Buntsandstein, S_m , und beträgt etwa 80–99% der sandigen Fraktion.

Die unter den feuchten, tonigen Böden liegenden Sandsteinbänke sind gebleicht. Sie enthalten den aufgeblättertten Muskovit und z. T. gebleichten, verwitterten Biotit, der in Vermiculit und „Hydrobiotit“ umgewandelt wird. Der Muskovit wird entlang den Spaltrissen abgebaut.

Die Glimmer aus den roten, ungebleichten Buntsandsteinbänken sind mit eisenhaltigen Auflagerungen bedeckt.

ε) *Bachsand aus dem Virgental, Hohe Tauern.* Die Glimmer sind dickblättrig. Einachsige Muskovite, die dreischichtiges Muskovitgitter besitzen, machen etwa 10% aller Muskovite aus. Biotit kommt in der ein-, zwei- und dreischichtigen Modifikation vor. Einige Biotite sind fast opak. Glimmer-Chlorit-Verwachsungen und Chlorite kommen häufig vor. Die Glimmer vom Virgental enthalten zahlreiche Einschlüsse von Rutil, Epidot, Quarz und Turmalin. Einige Biotit-

blättchen verwittern zu Vermiculit und „Hydrobiotit“. Im allgemeinen sind die meisten Glimmer frisch.

Zusammenfassung

Frische und verwitterte Glimmer sowie ihre Verwitterungsprodukte werden mit dem Polarisationsmikroskop untersucht und nach ihren optischen Eigenschaften eingeteilt.

Einkristall- und Textur-Verfahren und die Untersuchung von Glimmern mit diesen verschiedenen Methoden werden kurz besprochen. Es wird gezeigt, daß es an orientierten Präparaten mit Hilfe der Textur- und Guinier-Kamera möglich ist, tri- von dioktaedrischen Mineralen zu unterscheiden und die dreischichtigen bzw. zweischichtigen Muskovite zu erkennen. Diese Ergebnisse wurden mit Hilfe von Einkristallaufnahmen bestätigt.

Biotite und Muskovite in den untersuchten Sandsteinen kommen in verschiedenen Verwitterungszuständen vor: Frisch bis stark verwittert. Die frischen und die verwitterten Glimmer werden nach ihren optischen Eigenschaften und mit Hilfe der Röntgenmethoden unterschieden.

Bei den Muskoviten ist die zweischichtige Modifikation häufiger als die dreischichtige.

Biotite kommen in ein- und dreischichtigen Modifikationen vor. Einschichtige Biotite mit diffusen Röntgenreflexen auf Einkristall-Röntgenaufnahmen sind am häufigsten. Die Bestimmung der Biotitmodifikation ist nur an solchen Blättchen möglich, die noch deutlich getrennte hkl-Reflexe zeigen.

Muskovit-Chlorit-, Biotit-Chlorit- und Muskovit-Paragonit-Verwachsungen kommen in den Sanden aus dem Virgental vor. Sie stammen aus den metamorphen Schiefern der Hohen Tauern.

Folgende Eigenschaften der Glimmerblättchen deuten auf Verwitterung hin:

a) Die Lichtbrechung, die Doppelbrechung und die Schärfe der Interferenzfiguren nimmt mit zunehmender Verwitterung ab.

b) Es öffnen sich die Spaltrisse nach (001) und senkrecht zu (001) sowie die unregelmäßigen Spaltrisse.

c) Die verwitterten Glimmer zeigen diffuse, ausgelängte Röntgenreflexe auf den Einkristallaufnahmen.

Die Verwitterung greift von den Spaltrissen und von der Oberfläche ausgehend immer tiefer in das Glimmerblättchen ein. Dabei wird das Gitter der Biotite zerstört: Es bilden sich Verwitterungsprodukte, die meistens größere Basisabstände als die Biotite haben, wodurch man sie auf den Einkristall-Texturaufnahmen leicht erkennen kann. Die angewitterten Muskovite dagegen zeigen keine Vergrößerungen der Basisabstände.

Die verwitterten, aufgeblätterten Muskovitblättchen sind heterogen: Sie bestehen aus abgebauten Teilen entlang den Spaltrissen und an der Oberfläche sowie aus frischen Teilen dazwischen. Aus diesen Muskovitblättchen ist etwa 20% des Kaliumgehaltes weggeführt.

Die unterschiedliche Widerstandsfähigkeit des Muskovit- und des Biotitgitters gegen die Verwitterung ist durch die Stabilität der Oktaederschicht bedingt. In den Biotiten ist die Oktaederschicht weniger stabil als in den Musko-

viten, weil das Eisen leicht oxydiert und/oder weggeführt wird. Fe-reiche Biotite verwittern schneller als die Mg-reichen.

Durch Verwitterung und Transport reichern sich die Muskovite in den größeren Fraktionen der umgelagerten Sandsteine gegenüber den Biotiten an.

Biotite verwittern in Abhängigkeit von ihrer chemischen Zusammensetzung und von den Verwitterungsbedingungen entweder zu schwach doppelbrechenden Blättchen, ohne wesentliche Änderung der Gitterkonstanten oder zu Chlorit, „Hydrobiotit“, Vermiculit und zu einem quellfähigen Montmorin-Mineral. Dabei werden 20–50% des Kaliums weggeführt.

Nach den Ergebnissen dieser Arbeit zeigen die Muskovite und Biotite aus den Sanden und Sandsteinen alle Übergänge von frischen Glimmern bis zu Verwitterungsprodukten, die nach ihren Eigenschaften den Tonmineralen ähnlich sind.

Die wesentlichen Ergebnisse dieser Arbeit sind folgende:

- a) Nachweis der optisch einachsigen, dreischichtigen Muskovite in allen untersuchten Sandsteinen und Sanden.
- b) Heterogener Abbau des Muskovites.
- c) Umbau größerer Biotitkristalle (Sandfraktion) zu einem quellfähigen Mineral mit einem Basisabstand 15 Å und *b*-Abstand 9,32 Å.
- d) Der Umbau der Oktaederschicht von Biotiten wurde an Hand der Vergrößerung der *b*-Achse nachgewiesen.

Meinem hochverehrten Lehrer, Herrn Prof. Dr. C. W. CORRENS, danke ich sehr für die Überantwortung dieser Arbeit sowie für vielseitige Unterstützung, anregende Diskussionen während dieser Arbeit und für alles, was ich in seinem Institut lernen durfte. Herrn Prof. Dr. H. SCHUMANN, Dresden, bin ich für die Anleitung zu den mikroskopischen Untersuchungen zu Dank verpflichtet. Weiterhin gilt man Dank den Herren Professoren Dr. PREUSS, München, Dr. ZEMANN, Göttingen, und Dr. JASMUND, Köln, sowie Fräulein Dr. P. SCHNEIDERHÖHN, dem Herrn Dozenten Dr. S. KORITNIG und den Herren Dr. O. BRAITSCH, Dr. H. HARDER, Dr. H. M. KÖSTER, Dr. F. LIPPMANN und Dr. H. PILLER, sowie allen anderen, die mir meine Arbeit erleichtert haben.

Literatur

- ¹ AXELROD, J. M., and F. S. GRIMALDI: Muscovite with small optic angle. *Amer. Mineralogist* **34**, 565–572 (1949). — ² BÖHMEKE, A.: Untersuchungen über die Verwitterung des Muskovites. Diss. Göttingen 1947. — ³ BRAGG, W. L.: The structure of silicates. *Z. Kristallogr., Mineral. u. Petrogr.* **74**, 237–305 (1930). — ⁴ BRAMMALL, A., J. G. C. LEECH u. F. A. BANNISTER: The paragenesis of cookeite and hydromuscovite associated with gold at Ogofau, Carmarthenshire. *Mineral. Mag.* **24**, 507–520 (1937). — ⁵ BRAITSCH, O.: Röntgenographische Orientierungsbestimmung an Glimmern mit besonderer Berücksichtigung der (100)-Regel. Heidelberg. *Beitr. Mineral. u. Petrogr.* **4**, 333–342 (1954). — ⁶ BRINDLEY, G. W.: X-ray identification and crystal structures of clay minerals. The Mineralogical Society, London 1951. — ⁷ BRINDLEY, G. W., and F. H. GILLERY: X-ray identification of chlorite species. *Amer. Mineralogist* **41**, 169–186 (1956). — ⁸ BROWN, G.: The effect of isomorphous substitution on the intensities of (001) reflections of mica- and chlorite-type structure. *Mineral. Mag.* **30**, 657–665 (1955). — ⁹ BROWN, G., und D. M. C. MACEWAN: X-ray diffraction by structures with random interstratification. (Aus BRINDLEY 1951.) ¹⁰ BUNN, C. W.: Chemical crystallography. Oxford: University Press 1949. — ¹¹ BUNN, C. W.: The determination of the unit-cell dimensions. In H. S. PEISER, H. P. ROOKSBY u. A. J. C. WILSON, X-ray diffraction by polycrystalline materials, S. 354. London: Institute of Physics 1955. — ¹² BURCKHARDT, C. E.: Zur Bestimmung der gesteinsbildenden Glimmer. Schweiz. mineral. u. petrogr. Mitt. **23**, 467–474 (1943). — ¹³ BUTLER, J. R.: The geochemistry and mineralogy of rock weathering. I. The Lizard area, Cornwall. *Geochim. Acta* **4**, 157–178 (1953). — ¹⁴ BUTLER, J. R.:

The geochemistry and mineralogy of rock weathering. II. The Nordmarka area, Oslo. *Geochim. Acta* **6**, 268—281 (1954). — ¹⁵ CARR, K., R. W. GRIMSHAW and A. L. ROBERTS: A hydrous mica from Yorkshire fireclay. *Mineral. Mag.* **34**, 559—572 (1953). — ¹⁶ CORRENS, C. W.: Die chemische Verwitterung der Silikate. *Naturwiss.* **28**, 369—376 (1940). — ¹⁷ CORRENS, C. W.: Über die Löslichkeit von Kieselsäure in schwach sauren und alkalischen Lösungen. *Chem. d. Erde* **13**, 92—96 (1940). — ¹⁸ CORRENS, C. W.: Der Eisengehalt der marinen Sedimente und seine Entstehung. *Arch. Lagerstättenforsch.* **1942**, H. 75, 47—57. — ¹⁹ CORRENS, C. W., u. H. PILLER: Mikroskopie der feinkörnigen Silikatminerale. In H. FREUNDS *Handbuch der Mikroskopie in der Technik*, Bd. IV, Teil 1. Frankfurt a. M.: Umschau Verlag 1955. — ²⁰ DEKEYSER, W., et S. AMELINCKX: Les dislocations et la croissance des cristaux. Paris: Masson & Cie. 1955. — ²¹ DREIBRODT, O.: Beitrag zur Kenntnis des Diopsid führenden Brockengranitits und zur Baueritisierung. *Phil. Diss.* Leipzig 1912. — ²² ENGELHARDT, W. v.: Die Struktur von Thuringit, Bavalit und Chamosit und ihre Stellung in der Chloritgruppe. *Z. Kristallogr., Mineral. u. Petrogr.* **104**, 142—154 (1942). — ²³ GRIM, R. E., R. M. BRAY and W. F. BRADLEY: The mica in argillaceous sediments. *Amer. Mineralogist* **22**, 813—829 (1937). — ²⁴ GRIM, R. E., and W. F. BRADLEY: The effect of heat on the clay minerals illite and montmorillonite. *Bull. Amer. Ceram. Soc.* **23**, 242—248 (1940). — ²⁵ GRIM, R. E.: *Clay mineralogy*. New York: McGraw Hill 1953. — ²⁶ HARDER, H.: Zur Genese der Eisenerze des Lias γ . *Fortschr. Mineral., Kristallogr. u. Petrogr.*, **29/30**, 70—71 (1950/51). — ²⁷ HARDER, H.: Konvergenzerscheinungen der Mineralbildung einiger sedimentärer deutscher Eisenerze. *Geol. Rundschau* **43**, 515—518 (1955). — ²⁸ HARDER, H.: Untersuchungen an Paragoniten und an natriumhaltigen Muskoviten. *Heidelbg. Beitr. Mineral. u. Petrogr.* **5**, 227—271 (1956). — ²⁹ HEINRICH, E. Wm., A. A. LEVINSON, D. W. LEVANDOWSKI and C. H. HEWITT: Studies in the natural history of micas. Project M-978 (1951—1953). University of Michigan, Engineering Research Institute, Ann Arbor. — ³⁰ HENDRICKS, S. B.: Variable structures and continuous scattering of X-rays from layer silicate lattices. *Physic. Rev.* **57**, 448—454 (1940). — ³¹ HENDRICKS, S. B.: Screw dislocations and charge balance as factors of crystall growth. *Amer. Mineralogist* **40**, 139—146 (1955). — ³² HENDRICKS, S. B., and M. E. JEFFERSON: Polymorphism of the micas. *Amer. Mineralogist* **24**, 729—771 (1939). — ³³ HENDRICKS, S. B., and E. TELLER: X-ray interference in partially ordered layer lattices. *J. Chem. Physics* **10**, 147—167 (1942). — ³⁴ HIRSCH, H.: Beiträge zur Kenntnis der gesteinsbildenden Biotite und ihre Beziehung zum Gestein. *Inaug.-Diss.* Zürich 1901. — ³⁵ HÖVERMANN, G.: Über pleochroitische Höfe in Biotit, Hornblende und Cordierit und ihre Beziehungen zu den α -Strahlen radioaktiver Elemente. *Inaug.-Diss.* Göttingen 1912. — ³⁶ HUFFMANN, H.: Mineralogische Untersuchungen an fünf Bodenprofilen über Basalt, Muschelkalk und Buntsandstein. *Heidelbg. Beitr. Mineral. u. Petrogr.* **4**, 67—88 (1954). — ³⁷ JACKSON, W. W., u. J. WEST: The crystal structure of muscovite. *Z. Kristallogr. Mineral. u. Petrogr.* **76**, 212—227 (1930). — ³⁸ JACKSON, W. W., u. J. WEST: The crystal structure of muscovite. *Z. Kristallogr., Mineral. u. Petrogr.* **85**, 160—164 (1933). — ³⁹ JAGODZINSKI, H.: Eindimensionale Fehlordnung in Kristallen und ihr Einfluß auf die Röntgenreflexe. III. Vergleich der Berechnungen mit experimentellen Ergebnissen. *Acta crystallogr.* **2**, 298—304 (1949). — ⁴⁰ JAGODZINSKI, H., u. F. LAVES: Eindimensional fehlgeordnete Kristallgitter. *Schweiz. mineral. u. petrogr. Mitt.* **28**, 456—467 (1948). — ⁴¹ JASMUND, K.: Texturaufnahmen von blättchenförmigen Mineralen submikroskopischer Größenordnung in einer Debeye-Scherrer-Kamera. *Neues Jb. Mineral., Geol. u. Paläont., Mh.* **1950**, H. 3, 63—72. — ⁴² KRATKY, O., u. G. KREBS: Die Verwendung von Konvergenz- und Schwenkaufnahmen zur Herstellung von Schichtliniendiagrammen. *Z. Kristallogr., Mineral. u. Petrogr.* **95**, 253—265 (1936). — ⁴³ LEVINSON, A. A.: Study in the mica group. Relationship between polymorphism and composition in the muscovite-lepidolite series. *Amer. Mineralogist* **38**, 88—107 (1953). — ⁴⁴ LEVINSON, A. A.: Studies in the mica group. Polymorphism among illites. *Amer. Mineralogist* **40**, 41—49 (1955). — LIPPMANN, F.: Die Tonuntersuchung mit der Differentialthermoanalyse. *Ziegelindustrie* **1953**, H. 8. — ⁴⁶ LIPPMANN, F.: Clay minerals from the Röt Member of the Triassic near Göttingen, Germany. *J. Sedim. Petrol.* **26**, 125—139 (1956). — ⁴⁷ MACKENZIE, R. C., and A. A. MILNE: The effect of grinding on micas. *Mineral. Mag.* **30**, 178—185 (1953). — ⁴⁸ MAUGUIN, M. C.: Etude des micas au moyen des rayons X. *Bull. Soc. franc. Minéral.* **51**, 285—332 (1928). — ⁴⁹ MEHMEL, M.: Ab- und Umbau am Biotit. *Chem. d. Erde* **11**, 307—332 (1938). — ⁵⁰ MITCHELL, R. S.: Application of the Laue photograph to the study of polytypism and syntactic coalescence in silicon carbide. *Amer. Mineralogist* **38**, 60—67

- (1953). — ⁵¹ ROSENBUSCH, H., u. O. MÜGGE: Mikroskopische Physiographie der petrographisch wichtigen Mineralien, Bd. I, zweite Hälfte, spezieller Teil. Stuttgart 1927. — ⁵² OSTWALD, W.: Die kleine Farbmeßtafel nach OSTWALD. Ausgabe B, 1939. — ⁵³ PABST, A.: Redescription of the single layer structure of the micas. Amer. Mineralogist **40**, 967—974 (1955). — ⁵⁴ RINNE, F.: Bemerkungen und röntgenographische Erfahrungen über die Umgestaltungen und den Verfall von Kristallstrukturen. Z. Kristallogr., Mineral. u. Petrogr. **59**, 230—248 (1924). — ⁵⁵ RINNE, F.: Röntgenographische Diagnostik beim Brennen von Kalksteinen, Dolomit, Kaolin und Glimmer. Z. Kristallogr., Mineral. u. Petrogr. **61**, 113—124 (1925). — ⁵⁶ SCHNEIDERHÖHN, P.: Exkursion in die Umgebung von Göttingen. 4. Internat. Sedimentologentag in Göttingen 1954. — ⁵⁷ SCHUMANN, H.: Ein Mecklenburgischer Glaukonitsandstein. Chem. d. Erde **13**, 336—352 (1940). — ⁵⁸ SCHUMANN, H.: Die Bestimmung der maximalen Doppelbrechung einachsiger Minerale in schiefen Schnitten. Chem. d. Erde **13**, 353—362 (1940). — ⁵⁹ SCHUMANN, H.: Konoskopischer Summationseffekt bei Glimmeraggregaten. Zit. von BRAITSCH 1954. — ⁶⁰ SMITH, J. V., u. H. S. YODER: Experimental and theoretical study of the mica polymorphs. Mineral. Mag. **31**, 209—234 (1956). — ⁶¹ STEVENS, R. E.: New analyses of lepidolites and their interpretation. Amer. Mineralogist **23**, 607—628 (1938). — ⁶² TILLEY, C. E.: Density, refractivity and composition relations of some natural glasses. Mineral. Mag. **19**, 275—294 (1922). — ⁶³ TRÖGER, W. E.: Optische Eigenschaften und Bestimmung der wichtigsten gesteinsbildenden Minerale. In Handbuch der Mikroskopie in der Technik, herausgeg. von H. FREUND. Frankfurt a. M.: Umschau Verlag 1955. — ⁶⁴ VALETON, I.: Petrographie des süddeutschen Hauptbuntsandsteins. Heidelbg. Beitr. Mineral. u. Petrogr. **3**, 335—379 (1953). — ⁶⁵ WAGER, L. R.: A stage in the decomposition of biotite from the Shap Granite. Proc. Yorkshire Geol. Soc. **25**, 366—373 (1944). — ⁶⁶ WAHLSTROM, E. E.: Igneous minerals and rocks. New York: John Wiley & Sons 1950. — ⁶⁷ WALKER, G. F.: The decomposition of biotite in the soil. Mineral. Mag. **28**, 693—703 (1949). — ⁶⁸ WALKER, G. F.: Trioktahedral minerals in the soil clays of north-east Scotland. Mineral. Mag. **29**, 72—84 (1950). — ⁶⁹ WINCHELL, A. N., and H. WINCHELL: Elements of optical mineralogy. Part II. New York: John Wiley & Sons 1951. — ⁷⁰ WOLFF, T. v.: Beschreibung einer leicht justierbaren Guinierkamera für alle Winkelstellungen. Heidelbg. Beitr. Mineral. u. Petrogr. **4**, 243—250 (1954). — ⁷¹ ROSENBUSCH, H., u. E. A. WÜLFING: Mikroskopische Physiographie der petrographisch wichtigen Mineralien, Bd. I, erste Hälfte, Untersuchungsmethoden. Stuttgart 1921—1924. — ⁷² YODER, H. S., u. H. P. EUGSTER: Phlogopite synthesis and stability ranges. Geochim. Acta **6**, 157—185 (1954). — ⁷³ YODER, H. S., u. H. P. EUGSTER: Synthetic and natural muscovites. Geochim. Acta **8**, 227—271 (1955).

Dr. JADVYGA RIMŠAITE, Arvida, Quebec, Kanada

Anmerkung bei der Revision. Herr Professor ESKOLA möchte im Zusammenhang mit der vorliegenden Arbeit auf seine beiden nachstehend aufgeführten Untersuchungen aufmerksam machen:

ESKOLA, P.: On the disintegration of rapakivi. Bull. Commiss. géol. Finlande **92**, 96—105 (1936). — The mica of the moro. Bull. Commiss. géol. Finlande **144**, 113—116 (1949).

Aus dem Mineralogischen Institut der Universität Marburg a. d. Lahn

Über die Messung von Massenschwächungskoeffizienten bei der Phasenanalyse mit dem Zählrohrgoniometer

Von

BRUNO BREHLER

Mit 2 Textabbildungen

(Eingegangen am 23. Mai 1957)

Bei der röntgenographischen Bestimmung der quantitativen Zusammensetzung von Gemischen kristalliner Substanzen ohne Zuhilfenahme von Eichmischungen ist im allgemeinen, nämlich dann, wenn die chemische Zusammensetzung der einzelnen Phasen nicht wenigstens annähernd gleich ist, die Kenntnis der Massenschwächungskoeffizienten der zu analysierenden Gemische zweckmäßig. Der Zusammenhang zwischen der gemessenen Intensität, bezogen auf die Intensität der gleichen Linie der reinen Substanz, und dem Anteil dieser Substanz an dem Gemisch wird dann besonders einfach.

Es gilt nämlich für den Gehalt in Gewichtsprozent eines Gemisches an der Substanz A

$$x_a = 100 \frac{I_{ax}}{I_{a1}} \frac{\mu^*_M}{\mu^*_a}; \quad (1)$$

I_{ax} = Intensität einer Beugungslinie der Substanz A im Gemisch;

I_{a1} = Intensität der gleichen Linie der reinen Substanz A;

μ^*_a = Massenschwächungskoeffizient von A;

μ^*_M = Massenschwächungskoeffizient des gesamten Gemisches.

Hierauf wiesen LEROUX, LENNOX und KAY hin und gaben eine Methode zur Messung des Massenschwächungskoeffizienten an. VON ENGELHARDT vereinfachte die experimentelle Bestimmung des Massenschwächungskoeffizienten und baute das Verfahren in die quantitative Phasenanalyse von Tonen mittels Zählrohrgoniometer ein; das von ihm beschriebene Verfahren ist wie folgt: Das Präparat wird durch eine Calcitplatte ersetzt, die ein intensives (monochromatisches) Bündel bei $2\theta = 29,4^\circ$ liefert. Vor das Zählrohr bringt man eine kleine Küvette, die die zu untersuchende Substanz aufnimmt. Gemessen wird die von der Calcitplatte abgebeugte Intensität, einmal nach Durchtritt durch die leere Küvette (I_1) und zum anderen nach Durchtritt durch die mit der zu untersuchenden Substanz gefüllten Küvette (I_2). Bei Kenntnis des Gewichts G der in der Küvette befindlichen Substanz und der Grundfläche F der Küvette (die Grundfläche ist die Fläche senkrecht zur Achse des Röntgenbündels) läßt sich der Massenschwächungskoeffizient der Substanz errechnen:

$$\mu^* = \frac{F}{G} \ln \frac{I_1}{I_2} \quad (2)$$

Die Methode liefert Werte, die befriedigend mit den errechneten Werten übereinstimmen.

Als gewissen Nachteil der Methode empfinden wir die Notwendigkeit, von jedem Analysengemisch neben dem Präparat für die Registrierung der Analysenlinien ein weiteres Präparat für die Absorptionsmessungen herstellen zu müssen. Die Füllung der recht dünnen Küvette (Dicke etwa 0,3–0,8 mm) ist zeitraubend, zumal verhältnismäßig sorgfältig vorgegangen werden muß, um eine einigermaßen gleichdichte Packung der Substanz zu erzielen. Es wird ja nur ein kleiner Teil des Volumens für die Durchstrahlung in Anspruch genommen, andererseits muß das Volumen groß genug sein, um eine sichere Wägung der Substanz zu gestatten. Darüber hinaus treten bei jeder Manipulation leicht Substanzverluste auf, die dann, wenn insgesamt nur sehr wenig Substanz zur Verfügung steht, durchaus stören können.

Die genannten Gründe veranlaßten uns, nach einer Möglichkeit zu suchen, die abgebeugten Intensitäten und den Massenschwächungskoeffizienten der Gesamtsubstanz in *demselben* Präparat zu bestimmen.

Für die Phasenanalyse von Substanzgemischen, bei denen die Gefahr von Textureffekten nicht oder nur in geringem Maße besteht und die nur in kleinen Mengen zur Verfügung stehen, werden von uns in Verbindung mit einem Zählrohrgoniometer¹ die in Abb. 1 skizzierten Präparatsträger benutzt (WINKLER). Die Herstellung des Präparats erfolgt durch Eindrücken der feingepulverten trockenen Substanz in die Vertiefung und durch Glattstreichen der Oberfläche. Die benutzten Analysenlinien liegen bei Benutzung von $\text{CuK}\alpha$ -Strahlung² wohl stets unterhalb $2\theta = 40^\circ$, dann ist aber in den praktisch vorkommenden Fällen die Absorption des Primärbündels im Präparat größer als 95%, meistens größer als 99%. Je nach dem aufzunehmenden Diagrammausschnitt wird $1/4^\circ$ oder $1/2^\circ$ Primärstrahldivergenz und eine Spaltbreite von 0,08 oder 0,16 mm benutzt.

Die Messung des Massenschwächungskoeffizienten der in einem solchen Präparatsträger³ befindlichen Substanz läßt sich durchführen, wenn man als Boden des Präparatsträgers eine Einkristallplatte mit einer stark reflektierenden Netzebene parallel bzw. annähernd parallel der Präparatoberfläche benutzt und dann die Schwächung mißt, die ein Reflex dieser Bodenplatte durch die Substanz in der Ausnehmung des Präparatsträgers erfährt. Dazu wurde in die Unterseite der 3,5 mm dicken Halter eine Ausnehmung von 20 mm Durchmesser und 3,0 bis 3,25 mm Tiefe gedreht und eine Einkristallplatte eingekittet, diese bildet dann den Boden der Vertiefung zur Substanzaufnahme; die Dicke der Substanzschicht

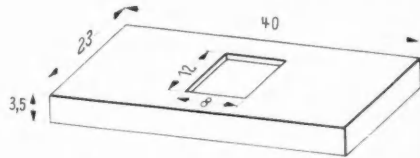


Abb. 1. Präparatsträger für geringe Substanzmengen. (Alle Maße in mm; die Tiefe der Ausfräsung beträgt 0,25–0,5 mm)

¹ Das benutzte Zählrohrgoniometer wurde gemeinsam mit Herrn Feinmechanikermeister H. Friebertshäuser entwickelt und in der Institutswerkstatt gebaut; eine ausführliche Beschreibung wird an anderer Stelle erfolgen.

² Sämtliche Angaben, die von der Wellenlänge der benutzten Strahlung abhängen, beziehen sich auch im folgenden stets auf $\text{CuK}\alpha$ -Strahlung.

³ Der Präparatsträger läßt sich selbstverständlich auch zur Messung des Massenschwächungskoeffizienten von Präparaten mit Textur heranziehen, während sein Hauptvorteil, nämlich die Messung von Linienintensitäten und dem Massenschwächungskoeffizienten in *demselben* Präparat, sich auf texturfreie Präparate beschränkt.

beträgt also 0,25–0,5 mm. Zur Messung der Intensitätsschwächung durch die Untersuchungssubstanz benutzt man am zweckmäßigsten Linien oberhalb $2\theta = 100^\circ$ (s. später). Die parallel der Präparatoberfläche des benutzten Bodenkristalls verlaufende Netzebene soll möglichst wenig Reflexe unterhalb $2\theta = 40^\circ$, aber einen sehr starken oberhalb $2\theta = 100^\circ$ liefern. Nach dem Gesagten bieten sich z. B. Spaltplatten von Steinsalz nach (100) und von Zinkblende nach (110) an: Die Steinsalzplatte liefert einen Reflex (200) bei $2\theta = 31,7^\circ$; den starken Reflex (600) bei $2\theta = 110,2^\circ$ benutzen wir für die Messung. Die Zinkblendespaltplatte liefert unterhalb 40° keinen Reflex und reflektiert in 4. Ordnung bei $2\theta = 107,1^\circ$.

Bei der Aufnahme des *Röntgendiagramms* der in dem beschriebenen Halter befindlichen *Analysensubstanz* würden bei der Verwendung streng monochromatischer Strahlung zwischen $2\theta = 5-40^\circ$ (außer der NaCl-Linie bei $31,7^\circ$) keine Komplikationen durch die Spaltplatte zu erwarten sein. Üblicherweise arbeitet man jedoch mit gefilterter Strahlung; es erscheint dann im Diagramm ein Untergrund von erheblicher Höhe und winkelabhängiger Intensität, der von der „weißen“ Röntgenstrahlung herrührt, die von der Einkristallplatte reflektiert wird. Diese kurzwellige Strahlung wird in jedem Fall von dem Präparat wesentlich weniger absorbiert als die $\text{CuK}\alpha$ -Strahlung.

Eine Unterdrückung dieses reflektierten kurzwelligen Strahlenanteils (wie auch des eventuell auftretenden (200)-Reflexes des NaCl) läßt sich erreichen, indem man vermeidet, daß die Kristallplatte während der Aufnahme des Beugungsdiagramms des untersuchten Pulvers Röntgenstrahlung in das Zählrohr reflektieren kann. Das läßt sich auf zweierlei Arten verwirklichen:

1. Anstatt der Spaltfläche (deren Netzebenen ja parallel der Präparatoberfläche verlaufen) benutzt man als Boden des Präparathalters eine Platte mit einer angeschliffenen Fläche, die um einen kleinen Winkel gegen die Netzebene, deren Reflex benutzt werden soll, z. B. also gegen die (100)-Fläche des NaCl, geneigt ist. Der Anschliff muß so erfolgen, daß der Winkel Netzebenennormale—Primärbündelrichtung verändert wird, daß also andererseits die Normale in der durch die Achsen von ein- und ausfallendem Bündel gebildeten Ebene bleibt. Wir geben der angeschliffenen Fläche eine Neigung von etwa $0,5^\circ$ gegen die Spaltfläche.

2. Es bildet zwar eine Spaltplatte den Boden des Präparatträgers; der Präparatträger wird aber aus der genauen 1:2-Stellung (die Präparatnormale halbiert den Winkel Röhrenfokus—Mittellinie der Präparatfläche—Zählrohrspalt) um etwa $1/2^\circ$ herausgedreht¹. Der Effekt ist im Hinblick auf die Einkristallplatte im Boden der gleiche wie oben. Auf die Lage und Intensität der Linien der zu untersuchenden Substanz und auf deren Untergrund übt diese Verdrehung nach unserer Erfahrung praktisch keinen Einfluß aus.

Bei der Benutzung von Steinsalzplatten bedienen wir uns im allgemeinen des schrägen Anschnittes, der durch Abschmirlen auf Schmirlpapier und Polieren auf einem feuchten Tuch in wenigen Minuten erhältlich ist; bei Verwendung von Zinkblendeplatten zogen wir bislang der Einfachheit halber die Möglichkeit 2 vor.

¹ Bei dem von uns benutzten Goniometer lassen sich Präparat und Zählrohr sehr rasch beliebig und definiert gegeneinander verdrehen.

Um den *Massenschwächungskoeffizienten der Untersuchungssubstanz* bestimmen zu können, muß die Schwächung, die ein bestimmter Reflex der Einkristallplatte durch das Präparat erfährt, gemessen werden; dazu muß aber die Einkristallplatte Intensität in das Zählrohr reflektieren können. Die unter 1. und 2. aufgeführten Manipulationen müssen also rückgängig gemacht werden. Dazu bestehen 2 Möglichkeiten:

a) Im Fall 1 wird das Präparat um den Anschliffwinkel zurückverstellt, so daß nicht die Präparatnormale, sondern die Netzebenenormale der Einkristallplatte Winkelhalbierende des Winkels Röhrenfokus—Mitte der Präparatfläche—Zählrohrspalt ist; die geringe Verdrehung des Präparats kann bei den späteren Betrachtungen vernachlässigt werden. Im Fall 2 wird die Verdrehung des Präparates rückgängig gemacht.

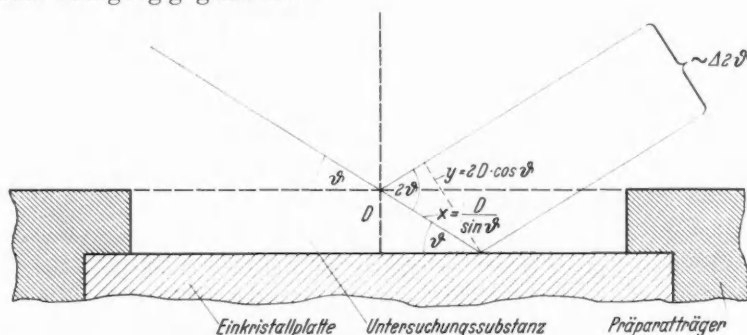


Abb. 2. Die geometrischen Verhältnisse bei dem benutzten Präparatträger (die reflektierenden Netzebenen der Einkristallplatte verlaufen parallel der Präparatoberfläche)

b) Die Divergenz des Primärbündels wird auf 2° vergrößert, denn dann wird auch bei der um $\frac{1}{2}^\circ$ verdrehten Stellung der Platte ein solches Flächenstück unter dem Glanzwinkel getroffen, welches abgebeugte Intensität in das Zählrohr reflektiert.

Die unter a) genannte Möglichkeit verdient den Vorzug, einmal weil sie übersichtlicher und methodisch einwandfrei ist, zum anderen weil durch die Vergrößerung der Primärbündeldivergenz die Intensitäten eventuell vorhandener Beugungslinien des Präparates in unliebsamer Weise vergrößert werden. Fehler bei der Messung der Schwächung des Einkristallreflexes durch etwaige Koinzidenz mit Reflexen der Untersuchungssubstanz sind jedenfalls bei der Beibehaltung der kleinen Primärbündeldivergenz nicht zu befürchten, da durch die für die Pulverreflexe wirksamen geometrischen Faktoren besonders die um $2\vartheta = 90^\circ$ liegenden Reflexe in ihrer Intensität im Vergleich zu Einkristallreflexen sehr stark herabgedrückt werden. Ein nennenswerter Fehler könnte nur bei recht stark absorbierenden Substanzen auftreten. Bei den genannten Glanzwinkeln ist die Aufspaltung der $\text{CuK}\alpha_1$ und $\text{CuK}\alpha_2$ entsprechenden Reflexe so beträchtlich, daß beide je ein Resultat liefern und sich dadurch wohl stets ein durch Koinzidenz hervorgerufener Fehler bemerkbar machen würde.

Die Messung bei großen Glanzwinkeln hat den weiteren Vorteil, daß die wirkenden Schichtdicken der Substanz nicht allzu groß werden, und außerdem, daß die Winkelverschiebung der Intensitätsmaxima der Einkristallplatte genügend klein bleibt (s. Abb. 2). Bei dem Aufsuchen der Einkristallreflexe ist zu beachten,

daß die Spaltplatte außerhalb der Goniometerachse sich befindet und dadurch eine Verschiebung der Intensitätsmaxima eintritt.

Die Packungsdichte der Substanz im Präparatträger muß möglichst gleichmäßig sein, da ja nur ein kleiner Ausschnitt zur Absorption des vom Zählrohr aufgefangenen Teilbündels beiträgt, gegebenenfalls lassen sich Messungen mit jeweils etwas verschobenem Präparatträger durchführen.

Naturgemäß beschränkt sich das Verfahren auf kleine und mittlere Massenschwächungskoeffizienten; die größten von uns bislang bestimmten Werte waren die von Steinsalz und Calcit, mit je etwa $75 \text{ cm}^2 \text{ g}^{-1}$. Beide Werte wurden mit einer Substanzschicht von etwa 0,25 mm Dicke erhalten; eine weitere Reduzierung der Substanzschichtdicke scheint uns kaum möglich.

Bei der Messung des Einkristallreflexes ohne Substanzfüllung hat man das Bündel mittels Folien bekannter Absorption¹ auf etwa $1/_{200}$ zu schwächen, um mit der Intensität in den Bereich der praktisch linearen Anzeige des Zählrohres zu kommen. Bei der Messung von schwach absorbierenden Substanzen ist auch eine definierte Reduzierung des durch die Substanz geschwächten Bündels auf 20–60% des ursprünglichen Wertes erforderlich. (Das benutzte Ar-Zählrohr gibt bis etwa 700 Impulse/sec eine hinreichend lineare Anzeige.) Als Intensitätsmaß benutzen wir die Peak-Höhen der Einkristallreflexe.

Für die Berechnung des Massenschwächungskoeffizienten aus den so erhaltenen Meßdaten ist die von v. ENGELHARDT angegebene Gleichung zu modifizieren. Ein Röntgenbündel der Intensität I_1 wird beim Durchgang durch eine Substanzschicht der Dicke D mit dem linearen Absorptionskoeffizienten μ auf den Betrag $I_2 = I_1 e^{-\mu D}$ geschwächt. In unserem Fall wird diese Schicht zweimal und mit einem Neigungswinkel von $90^\circ - \vartheta$ (ϑ = einfacher Glanzwinkel des benutzten Reflexes) gegen die Normale der quaderförmigen Schicht durchlaufen (s. Abb. 2). Die wirksame Schichtdicke ist hier also $a = \frac{2D}{\sin \vartheta}$; setzt man nun $\mu = \mu^* \varrho = \mu^* \frac{G}{FD}$ und führt in die Absorptionsgleichung anstelle der Schichtdicke die wirksame Schichtdicke ein, so ergibt sich schließlich

$$\mu^* = \frac{F \cdot \sin \vartheta}{2 G} \ln \frac{I_1}{I_2} \quad (3)$$

ϱ = Dichte der Substanz;

G = Gewicht der Substanz;

F = Grundfläche des quaderförmigen Substanzvolumens;

D = Dicke der Substanzschicht (senkrecht zur Präparatoberfläche gemessen).

In der folgenden Tabelle sind einige Bestimmungen mit ausführlicher Angabe der Meßdaten aufgeführt (die μ^* -Werte sind stets in $\text{cm}^2 \text{ g}^{-1}$ angegeben).

Die μ^* -Werte gelten für $\text{CuK}\alpha$ -Strahlung, sämtliche Daten stammen aus Einzelmessungen, die angegebenen μ^* -Werte sind also keine Durchschnittswerte.

Die Präparatflächengrößen (F) für die benutzten Halter liegen zwischen 0,9 und $1,0 \text{ cm}^2$.

¹ Hier werden 2 Kupferfolien von je 0,057 mm Dicke benutzt, die eine Schwächung auf $1/_{210}$ bewirken.

Tabelle 1

Substanz	Bodenplatte		Gewicht g	$\frac{I_1}{I_2}$	μ^* ge- messen	μ^* be- rechnet
		(Unterdrückung der „weißen“ Strahlung)				
Quarz	NaCl	$1/2^\circ$ verdreht	0,0513	107,4	34,9	34,9
Quarz	NaCl	$1/2^\circ$ angeschliffen	0,0468	70	34,8	34,9
CaCO ₃ (p. a.)	ZnS	$1/2^\circ$ verdreht	0,0374	1603	73,8	75,6
NaCl (p. a.)	ZnS	$1/2^\circ$ verdreht	0,0418	4830	78,3	74,9
Kaolinit von CHODAU . . .	NaCl	$1/2^\circ$ angeschliffen	0,0290	14,2	35,0	33,7
Illit-Ton von FITHIAN . . .	NaCl	$1/2^\circ$ verdreht	0,0450	141,5	49,5	48,7
Illit-Ton (FITHIAN) mit 8% Calcit (AUERBACH) . . .	NaCl	$1/2^\circ$ angeschliffen	0,0448	430	51,9	51,6
Calcit (AUERBACH)	ZnS	$1/2^\circ$ verdreht	0,0403	4500	76,5	75,6

Die berechneten μ^* -Werte wurden für den Kaolinit von CHODAU und den Illit-Ton von FITHIAN nach der chemischen Analyse der benutzten Probe berechnet, für die übrigen Substanzen wurde die Idealzusammensetzung angenommen.

Der Einfluß des Massenschwächungskoeffizienten auf eine Phasenanalyse¹ sei an einem Beispiel erläutert: Dem (karbonatfreien) Illit-Ton von FITHIAN wurden 8% Calzit (von AUERBACH) zugemischt. Es sollen nun der (natürliche) Quarzgehalt und der (zugemischte) Calzitgehalt bestimmt werden. Ohne Berücksichtigung des Massenschwächungskoeffizienten, nur aus dem Verhältnis Intensität der Quarz-

Tabelle 2

Zu bestimmende Kristallart	$\frac{I_{ax}}{I_{a1}}$	Gehalt in %	
		ohne	mit
		Berücksichtigung der Gleichung (1)	
Quarz	0,16	16	23
Calcit	0,135	13,5	9

bzw. Calzitlinie im Gemisch zur Intensität der gleichen Linie des betreffenden reinen Minerals ergaben sich die Gehalte wie sie in der zweiten Spalte der Tabelle 2 aufgeführt sind. Berücksichtigt man jedoch die Gl. (1), so ergeben sich die Werte der Spalte 3; die der Rechnung zugrunde liegenden Massenschwächungskoeffizienten sind in der Tabelle 1 mit aufgeführt.

Bei Komponenten, deren Massenschwächungskoeffizienten von denen des Gemisches stark verschieden sind, führt die Nichtberücksichtigung der Gl. (1) bzw. der verschiedenen Massenschwächungskoeffizienten mittels einer der anderen Methoden, s. v. ENGELHARDT und KLUG and ALEXANDER (dort ausführliche Literaturangaben), also zu erheblichen Fehlern, die weit außerhalb der Meßfehlergrenze liegen.

Zusammenfassung

Es wird ein Verfahren angegeben, um bei der röntgenographischen Gemischanalyse mit dem Zählrohrgoniometer, dann wenn die Gefahr von Textureffekten nicht besteht, die Intensitäten der Analysenlinien und den Massenschwächungs-

¹ Die allgemeinen Grundlagen finden sich bei v. ENGELHARDT und KLUG und ALEXANDER.

koeffizienten in demselben Präparat messen zu können; dazu wird in den Boden des Präparatträgers eine Einkristallplatte eingekittet und die Schwächung gemessen, die ein Reflex der Kristallplatte durch Einbringen der Präparat-substanz erfährt.

Dem Direktor des Mineralogischen Instituts, Herrn Prof. Dr. H. WINKLER, danke ich für sein förderndes Interesse an der vorliegenden Untersuchung.

Literatur

ENGELHARDT, W. v.: Z. Kristallogr. **106**, 430—459 (1955). — KLUG, H. P., and L. E. ALEXANDER: X-ray diffraction procedures. New York 1954. — LEROUX, J., D. H. LENNOX and K. KAY: Analyt. Chem. **25**, 740—743 (1953). — WINKLER, H. G. F.: Geochim. et Cosmochim. Acta **1957**.

Dr. B. BREHLER, Mineralogisches Institut der Universität Marburg,
Marburg a. d. Lahn, Deutschhausstr. 10

Aus dem Sedimentpetrographischen Institut der Universität Göttingen
Untersuchungen über die Petrographie kulmischer Kiesel-schiefer

Von

HILDEGARD HOSS

Mit 13 Textabbildungen

(Eingegangen am 27. Juni 1957)

Inhaltsübersicht	Seite
I. Einleitung	59
II. Probenahme	59
III. Beschreibung des Profils Wallau Schießhalde	60
IV. Petrographische Untersuchungen	61
1. Proben aus dem Profil Wallau	61
a) Dunkle Lydite S. 61. — b) Tonschieferzwischenlagen S. 66. — c) Tuffige Lydite S. 68. — d) Bunte Lydite S. 71. — e) Kieselkalkbank S. 71. — f) Tuffzwischenlagen S. 72	
2. Vergleichsproben	76
a) Tuffe verschiedener Fundpunkte S. 76. — b) Kulmische Kiesel-schiefer aus dem Harz S. 80. — c) Silurische Kiesel-schiefer S. 80	
V. Untersuchung der Kiesel-säure	82
VI. Diskussion der wichtigsten Entstehungstheorien	85
Zusammenfassung	86
Literatur	87

I. Einleitung

Die Entstehung der Kiesel-schiefer ist immer noch ein umstrittenes Problem. Bisher wurden bei allen Arbeiten über diese Gesteine nur die eigentlichen Lydite untersucht, und zwar stammten die Proben von verschiedenen Fundpunkten. Die vorliegende Arbeit bringt eine Untersuchung von Profilen kulmischer Kiesel-schiefer (Zone II—IIIz), wobei die nicht-lyditischen Bestandteile besonders berücksichtigt werden.

Die umfangreiche Literatur, die sich seit Mitte des vorigen Jahrhunderts über Kiesel-sedimente angesammelt hat, soll hier nicht besprochen werden. Der größte Teil der Arbeiten behandelt das geologische Vorkommen der Gesteine und das Problem ihrer Entstehung. Besondere Anregung gab eine neuere geologisch-petrographische Untersuchung der miozänen Kiesel-sedimente der Monterey Formation in Kalifornien (BRAMLETTE⁵ 1946).

Ältere petrographische Arbeiten an kulmischen Kiesel-schiefern wurden ausgeführt von DU MEXIL 1820³⁴, WUNDERLICH 1880⁵⁸, GREIM 1890²¹, HINDE 1895²⁷, CORRENS 1924¹⁰, SCHWARZ 1928⁴⁸. Die Ergebnisse dieser Autoren werden im Verlauf der Arbeit diskutiert.

II. Probenahme

Nördlich Wallau (Bl. Laasphe) wurden 4 Profile aufgenommen:

	Profil-länge	Gesamt-höhe	Proben-zahl
1. Steinbruch Schießhalde	10 m	17 m	55
2. Steinbruch Stift	4,5 m	10 m	10
3. Manganschacht Lange Hardt.	2,4 m	2,4 m	1
4. Steinbruch Rötchenhain	2,5 m	6 m	7

Weitere Proben stammen von folgenden Orten:

Steinbruch am Bahnhof Beddelhausen (Bl. Berleburg),

Steinbruch an der Straße Eifa/Laisa (Bl. Biedenkopf),

Wegnase an der Spielmannshöhe (Bl. Lutter, Harz),

Steinbruch an der Straße im Papental (Bl. Lutter),

Steinbruch am Eingang Groß-Flossental (Bl. Altenau, Harz).

Ferner standen zur Verfügung:

Kieselschiefer von Wallau aus der Sammlung CORRENS 1932,

Kieselschiefer aus dem Harz (Institutssammlung),

Monterey-Kieselschiefer aus der Sammlung CORRENS 1954.

Für Gotlandische Kieselschieferproben von Altmannsgrün (Bl. Treuen-Herlasgrün, Sachsen) und eine Ordovizische Probe von Döbra Berg (Frankenwald) danke ich Herrn Dr. BRAITSCH, für algonkische Kieselschiefer aus der Bretagne danke ich Mlle. DURAND.

III. Beschreibung des Profils Wallau Schießhalde

Die Kieselschiefer sind in diesem Profil 17 m mächtig und etwa 50 m im Streichen aufgeschlossen. Die Schichten fallen nach Süden ein. Im unteren Teil des Profils wechsellagern schwarze bis graue Lyditbänke von 5–10 cm Mächtigkeit mit dünnen Tonschieferlagen gleicher Farbe. Vom splittrig brechenden Lydit bis zum plastischen Tonschiefer treten alle Übergänge auf. Meistens zwischen schwarzen Tonschiefern, zuweilen auch zwischen Lyditbänken beobachtet man weißliche, grünlich-gelbe oder graue Einschaltungen von gröber klastischem Material. Sie wurden auf Grund der Untersuchungsergebnisse als Tuffe erkannt. Zwischen 0–7 m enthält das Profil 40 Tufflagen. Ihre Mächtigkeit schwankt von 0,02–10 cm und beträgt insgesamt etwa 50 cm; ihre Häufigkeit nimmt nach oben hin zu. Fünf Meter über dem Fußpunkt des Profils liegt ein 24 cm mächtiger Mangansilikat-Horizont. (Arbeiten über Manganerze dieser Art findet man bei BRANDES⁶, DU MENIL³⁵, HUMMEL²⁸). Etwa 1 m darüber werden die Lyditbänke auffallend fleckig und allmählich etwas poröser. Die Flecken werden durch zahllose helle, kugelige oder elliptische Gebilde verursacht ($\varnothing \pm 1$ mm), die das Gestein durchsetzen. Nach weiteren 1,5 m beginnt die Stufe der sog. Bunten Lydite. Das sind hier 1–3 cm mächtige Bänke von roten und grünen, kieseligen Tonschiefern. Dazwischen liegen giftgrüne Tonlagen, helle Tuffbänder und poröse, aber harte Bänke, meist bräunlich, die Reste von tuffigen Kieselkalken sind. Eine Bank dieser Art ist im Profil 2 cm mächtig und führt keinen Kalk. Fünf Meter weiter rechts schwillt sie zu einer 60 cm mächtigen Linse an, die aus reinem Kieselkalk besteht. Ungleichmäßige Mächtigkeit der einzelnen Lyditbänke ist öfter zu beobachten. Sie kann tektonisch bedingt sein, da die Kieselschiefer außerordentlich stark gefaltet sind. Doch sprechen wulstige Schichtflächen und das Vorkommen von einem Aufbereitungshorizont für eine zeitweise unruhige Sedimentation. Im oberen Teil des Profils treten vereinzelt reine Kieselkalkbänke von ± 10 cm Mächtigkeit auf.

Wieweit die Tuffbänder horizontbeständig sind, kann nicht mit Sicherheit entschieden werden. Wahrscheinlich sind sie es nicht. Es gelang nur einmal, Schichtverbände zu parallelisieren mit der Annahme, daß die 24 cm mächtige

Mangansilikatbank im Steinbruch an der Schießhalde mit dem 500 m weiter östlich aufgeschlossenem Mangan-Horizont am Manganschacht Lange Hardt identisch ist. Die Manganschicht ist an dieser Stelle 32 cm mächtig. In beiden Profilen erfolgt darüber im Abstand von 2,70 bzw. 2,80 m der Fazieswechsel von dunklen zu bunten Lyditen. Ausgehend von diesem Mangan-Horizont ist die Folge der Tuffbänder nach oben und unten an den beiden Orten verschieden.

Die Proben aus dem Profil an der Schießhalde wurden optisch, röntgenographisch, chemisch und spektralanalytisch untersucht. Die übrigen Proben lieferten Vergleichsmaterial. Besonders interessante Ausschnitte aus den anderen Profilen werden gesondert betrachtet.

IV. Petrographische Untersuchungen

1. Proben aus dem Profil Wallau

a) **Dunkle Lydite.** Von allen Proben wurden Dünnschliffe untersucht und Röntgenaufnahmen gemacht.

Optische Untersuchung. Abb. 1 gibt einen Eindruck von einem typischen Lyditdünnschliff. Die Feinschichtung wird fast immer durch Lagen von bituminöser Substanz hervorgerufen, in manchen Fällen auch durch Eisenoxyde und -oxydhydrate, die Pseudomorphosen nach Pyrit bilden. Quarzadern sind häufig. Sie enthalten oft kleine Albitkristalle, wie schon von HERITSCH²⁶ beschrieben wurde. Die sphärolithischen Gebilde sind von verschiedener Herkunft. In vielen Schliffen findet man nur Radiolarien, die meistens zu Chalzedon oder Quarz umkristallisiert sind. Manchmal ist ihr Kern noch fast isotrop (Abb. 2). Etwa 90% der Sphärolithe in Abb. 1 bestehen aus einem Albit-Quarzgemenge, oft auch aus reinem Albit (An 0—5%) (Abb. 3). Die restlichen 10% sind umkristallisierte Radiolarien. Außerdem gibt es Proben, die vorwiegend Chloritsphärolithe enthalten (Abb. 4). Diese 3 Typen von Sphärolithen treten nebeneinander auf. Meistens herrscht innerhalb einer Schicht der eine oder andere Typ vor.

Radiolarien in Kieselchiefern sind seit langem bekannt und oft beschrieben worden. Chloritsphärolithe in devonischen Kieselchiefern der Vogesen wurden bereits von DE LAPPARENT³¹ beobachtet. Er deutet sie als chloritisierte Radiolarien. G. FISCHER¹⁷ berichtet gleichfalls über Chloritpseudomorphosen nach Radiolarien in silurischen Kieselchiefern des Ost-Harzes. Auch bei verschiedenen, sehr radiolarienreichen, kulmischen Proben aus dem West-Harz konnte diese Chloritisierung beobachtet werden. Der Chlorit wächst häufig vom Schalenrand der kugeligen Radiolarien (*Spumellaria*) nach innen, wobei der äußere Strahlenkranz der Skelette oft als Quarz erhalten bleibt. Es handelt sich um einen feinschuppigen, nicht pleochroitischen, schwach gelb-grünen Chlorit. Bei + Nicols ist er oft schlecht von mikrokristallinem Quarz zu unterscheiden. Die Lichtbrechung liegt zwischen 1,585—1,595. Daneben führen einige Proben aus dem Wallauer Profil einen schwach pleochroitischen, grünlichen Chlorit von graublauen Interferenzfarben, der, vergesellschaftet mit Albit, schuppen- oder rosettenförmig auftritt. Beide Chlorite werden im Bereich von Eisenlösungen, die das Sediment in kleinen Kanälen kreuz und quer durchsickern (s. dunkle Gänge in Abb. 1), in eisenreichere Varietäten umgewandelt. Das erkennt man

sehr deutlich an dem oliv-dunkelgrünen Pleochroismus und an den strohgelben Interferenzfarben.

Die organogene Herkunft der Quarz-Chalzedon-Sphärolithe ist unbestritten. Die Verdrängung von Opal bzw. Quarz-Chalzedon durch Chlorit wurde beobachtet, womit der Ursprung von einem Teil der Chloritsphärolithe klar ist. Der meistens mit Feldspat vergesellschaftete Chlorit und die Albit-Quarzaggregate stammen entweder aus aufbereiteten Tuffhorizonten, wo ähnliche Gebilde vorkommen, oder es handelt sich um feldspatisierte Radiolarien. Eine sichere Ent-

scheidung kann nicht getroffen werden.

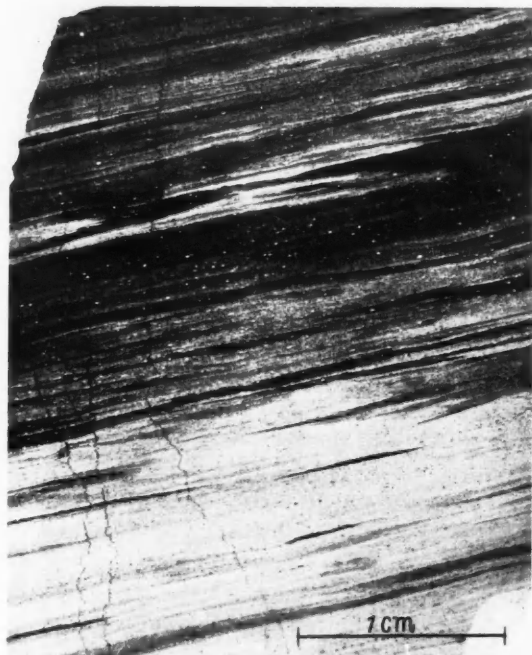


Abb. 1. Dünnschliff von einem dunklen Lydit

Außer den Sphärolithen unterscheiden sich von der Grundmasse Pyritwürfel und Kalzit, der Rhomboeder und unregelmäßig umgrenzte Flecken bilden kann. Der Pyrit reflektiert im Auflicht wenig oder gar nicht. Daraus wird geschlossen, daß er zum größten Teil in Eisenoxyd und -oxydhydrat umgewandelt worden ist. (Die Schwefelbestimmungen, die nicht bei den chemischen Analysen mitgeteilt werden, ergaben S-Gehalte von $< 0,05\%$). Die Entstehung der Kalzit-rhomboeder wurde von CORRENS experimentell nachgemacht und beschrieben¹⁰. BRAMLETTE⁵ hält sie für umkristallisierte Foraminiferenschalen. Eozäner Radiolarienschlamm (Barbados)

führt etwa 1–2% Kalkspat als Rhomboeder und ohne kristallographische Umgrenzung, wie an Streupräparaten beobachtet wurde. Einzelne Lydit-Proben enthalten Schwammnadeln. Sie sind in Quarz-Chalzedon oder in Chlorit umgewandelt.

Die Grundmasse der Lydite besteht aus einem sehr feinkörnigen Gemenge von Kieselsäure, einem muskovitähnlichen Glimmer, vielleicht auch etwas Chlorit, aus bituminöser Substanz und Eisenoxyd und -oxydhydrat. Die Form der Kieselsäure wird später diskutiert.

Röntgenanalyse. Die Ergebnisse der Röntgenanalyse stimmen mit den optisch ermittelten Befunden überein. Für die Röntgenaufnahmen wurde vorwiegend das Guinier-Verfahren nach v. WOLFF⁵⁷ angewandt, weil das Auflösungsvermögen besonders gut und die Präparatherstellung besonders einfach ist. Zur Lösung spezieller Fragen bezüglich der Tonminerale wurden zusätzlich Texturaufnahmen nach JASMUND²⁹ gemacht.

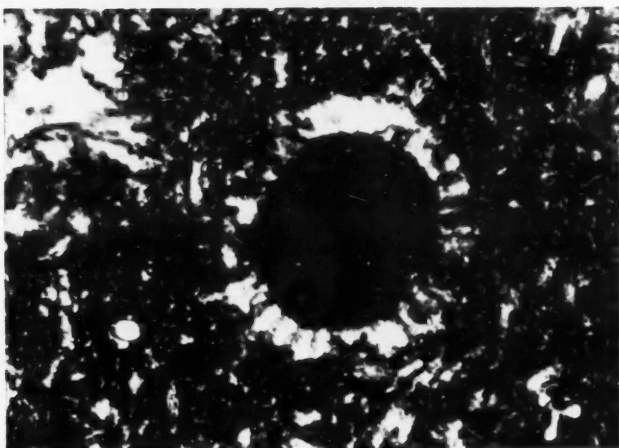


Abb. 2. Radiolarie + Nikols. $V = 200 \times$



Abb. 3. Quarz-Albit-Sphärolith + Nikols. $V = 300 \times$

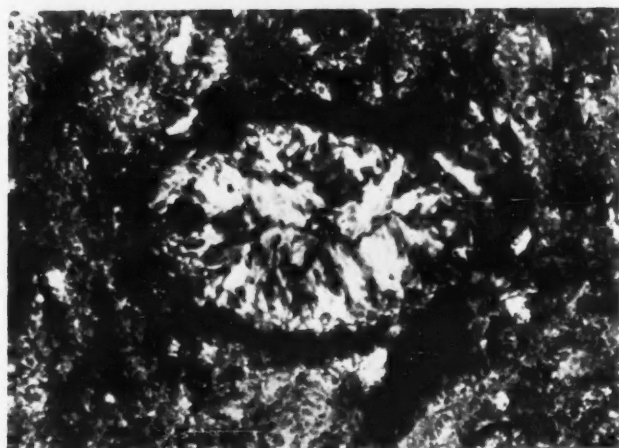


Abb. 4. Chlorit-Sphärolith + Nikols. $V = 200 \times$

Alle Proben zeigen neben dem vollständigen Quarzdiagramm eine Anzahl Plagioklaslinien, Muskovit- und Chloritreflexe von wechselnder Intensität. Bei einigen Proben tritt die Hauptlinie von Hämatit schwach auf. Pyrit konnte auch

röntgenographisch nicht gefunden werden. Der geringe Kalzitanteil wird röntgenographisch nicht mehr erfaßt.

Tabelle 1. *Chemische Analysen von einer Probe (Nr. 1 nach der klassischen Methode, Nr. 2 nach der kombinierten Methode)*

	Nr. 1	Nr. 2	„Fehler“ %
SiO ₂ . .	83,96	84,2	0,5
Al ₂ O ₃ . .	7,23	7,46	0,2
Fe ₂ O ₃ . .	2,72	2,64	0,2
TiO ₂ . .	0,13	0,13	0,01
MnO . .	0,05	0,04	0,01
P ₂ O ₅ . .	0,04	0,06	0,01
CaO . .	0,30	0,25	0,05
MgO . .	0,62	0,76	0,10
Na ₂ O . .	0,71	0,71	s. Text
K ₂ O . .	1,5	1,5	s. Text
H ₂ O . .	2,8	2,8	0,2
C . . .	0,10	0,10	0,05
	100,16	100,65	

Chemische Analyse. Für den chemischen Analysengang wurde ein Mittelweg zwischen klassischer Methode und Schnellmethode nach SHAPIRO und BRANNOCK⁵⁰ gewählt. Eine ausführliche Kritik dieser Methode findet man bei MERCY³⁶. Inzwischen ist der Analysengang von SHAPIRO und BRANNOCK verbessert worden⁵¹, hat allerdings dadurch etwas an Schnelligkeit verloren.

Methodik. SiO₂, TiO₂, P₂O₅ werden kolorimetrisch nach SHAPIRO und BRANNOCK (I) bestimmt. Standard-Proben vom National Bureau of Standards standen nur begrenzt

zur Verfügung. Deshalb wurden sorgfältig eingestellte Lösungen, deren Gehalt außerdem kolorimetrisch mit Eichkurven oder gravimetrisch geprüft wurde, als Standard benutzt. Die Messungen wurden mit dem Zeiss-Spektralphotometer M 4 G II ausgeführt.

CaO und MgO wurden komplexometrisch nach SHAPIRO und BRANNOCK (I) bestimmt. Der Indikatorumschlag bei der Ca-Titration läßt sich durch einen Zusatz von Naphthol-

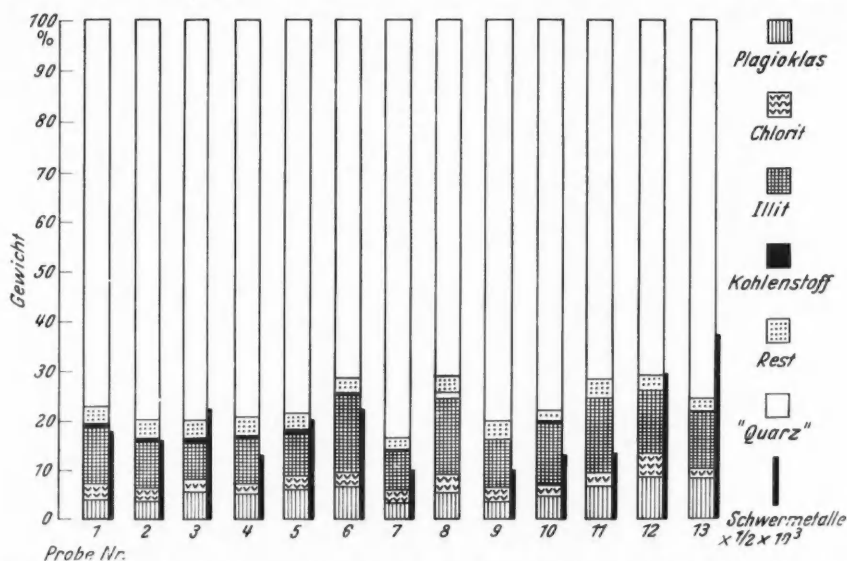


Abb. 5. Zu Tabelle 2: Graphische Darstellung des Mineralbestands von 13 dunklen Lyditen

grün B (KNIGHT)³⁰ etwas verbessern. Bei quantitativer Abtrennung der Sesquioxyde vor der Ca-Mg-Titration (SHAPIRO und BRANNOCK I) resultierten bessere Werte als bei der Tarnung der Sesquioxyde als Tartratkomplexe (SHAPIRO und BRANNOCK II).

Die Alkalien wurden flammenphotometrisch bestimmt mit dem Flammenzusatz zum Spektrometer M 4 G II von Zeiss. Für Na₂O wurde immer dieselbe Eichkurve benutzt, für KO₂ wurde bei jeder Messung eine neue Eichkurve unter den jeweiligen Bedingungen aufgestellt.

Tabelle 2. Chemische Analysen von 13 dunklen Lyditen

	Probe Nr.												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
SiO ₂	85,4	86,9	87,3	87,0	88,1	83,0	89,0	82,6	87,9	86,1	84,0	83,5	86,3
Al ₂ O ₃	5,3	4,6	4,4	4,7	4,8	7,3	4,6	7,1	4,9	5,9	7,2	7,0	6,3
Fe ₂ O ₃	2,3	2,7	2,3	2,5	2,6	2,3	1,8	2,8	2,8	1,4	2,7	2,9	2,2
TiO ₂	0,11	0,14	0,12	0,13	0,09	0,11	0,09	0,13	0,05	0,11	0,13	0,09	0,11
MnO	0,04	0,03	0,04	0,04	0,04	0,05	0,05	0,07	0,02	0,06	0,05	0,04	0,06
P ₂ O ₅	0,06	0,04	0,06	0,04	0,09	0,08	0,04	0,03	0,03	0,08	0,06	0,04	0,09
CaO	0,3	0,1	0,2	0,1	0,1	0,2	0,1	0,1	0,2	0,3	0,3	0,3	0,1
MgO	0,9	0,8	0,8	0,7	0,7	0,8	0,5	1,0	0,8	0,8	0,6	1,4	0,6
Na ₂ O	0,5	0,4	0,6	0,6	0,6	0,8	0,4	0,6	0,4	0,5	0,7	0,9	0,9
K ₂ O	1,1	1,0	0,9	0,9	0,9	1,7	1,0	1,7	1,0	1,2	1,5	1,4	1,1
H ₂ O ⁺	2,4	2,3	2,2	2,1	1,9	2,4	2,2	2,6	2,1	2,5	2,5	2,4	1,9
H ₂ O ⁻	0,2	0,3	0,2	0,2	0,2	0,3	0,3	0,5	0,3	0,5	0,3	0,3	0,3
C	1,09	0,65	1,29	0,93	0,60	0,52	0,35	1,50	0,08	0,96	0,10	0,17	0,71
CO ₂	0,15	n. b.	n. b.	n. b.	n. b.	n. b.	n. b.	n. b.	0,11	n. b.	n. b.	n. b.	n. b.
	99,85	99,96	100,41	99,94	100,72	99,56	100,45	0,72	100,69	100,41	100,16	100,44	100,67

FeO wurde nach DITTLER bestimmt, und zwar nur in Proben, die keinen Kohlenstoff enthielten (HILLEBRAND 1954). Bituminöse Proben lieferten auch nach Filtration unter CO₂-Atmosphäre noch zu hohe FeO-Werte.

H₂O, CO₂ und S wurden nach DITTLER bestimmt.

Die Kohlenstoffbestimmung wurde nach der von CORRENS¹¹ beschriebenen Methode ausgeführt, die auf dem Prinzip der nassen Verbrennung beruht.

Die Genauigkeit des Analysengangs wurde mit Standard Diabas WI überprüft und für ausreichend befunden. Tabelle 1 bringt 2 Analysen der gleichen Probe, wovon Nr. 1 nach der klassischen Methode (DITTLER), Nr. 2 nach der oben beschriebenen kombinierten Methode ausgeführt wurde. In der gleichen Tabelle ist unter „Fehler“ die relative Abweichung vom arithmetischen Mittel bei Parallelbestimmungen nach der kombinierten Methode angegeben. Bei größeren Abweichungen wurden die Analysen wiederholt. Für die Alkalien beträgt der relative Fehler bei Na₂O 10%, bei K₂O 20% des angegebenen Wertes.

Tabelle 2 bringt unter Nr. 1–13 Analysen von dunklen Lyditen. Abb. 5 zeigt eine graphische Darstellung des Mineralbestands.

Er wurde aus den chemischen Analysen unter folgenden Voraussetzungen berechnet:

Na₂O ist nur an Plagioklas (An 10%) gebunden. (Feldspatbestimmung s. S. 74.) MgO ist nur an Chlorit gebunden. Berechnet wurde ein Chlorit mit 10% Fe₂O₃, weil die optischen Eigenschaften in den meisten Fällen einem Mg-reichen Chlorit entsprechen und auch der 1. Basisreflex häufig zu beobachten ist. Der Illit repräsentiert den restlichen Al-Gehalt. Er enthält oft weniger K₂O als der Formel entspricht. Kalzit wird nicht berücksichtigt, weil er in allen Proben unter 0,3% liegt. Als Rest bleibt hauptsächlich Fe₂O₃. Daneben 0,1–1% H₂O (die hohen Werte in tonreichen Proben), MnO, P₂O₅, TiO₅ und maximal 0,1% CaO.

Die Berechnung liefert nur einen groben Begriff von der wirklichen Zusammensetzung. Da der Mineralbestand aller Proben gleichartig ist, und die

Zu Tabelle 2

Probe Nr.	Aussehen	Profilhöhe cm
1	schwarzer Lydit	1 — 9
2	schwarzer Lydit	10 — 17,5
3	schwarzer Lydit	18,2 — 35,7
4	schwarzer Lydit	38,2 — 50,0
5)	schwarzer Lydit (eine Bank)	64,2 — 66,0
6)		66,0 — 68,2
7	grauschwarzer Lydit	73,2 — 88,2
8	schwarzer Lydit	99,8 — 103,3
9	grauschwarzer Lydit	132,3 — 136,3
10)	Lydit (eine Bank) schwarz hellgrau	162,5 — 167,0
11)		
12	schwarzer Lydit	237,8 — 242,3
13	grauschwarzer Lydit	661,1 — 664,6

Berechnung in allen Fällen unter denselben Voraussetzungen erfolgte, dürften die relativen Unterschiede richtig sein.

Die Analysenzahl ist offenbar noch zu klein, um größere Gesetzmäßigkeiten klar sichtbar zu machen. Vielleicht sind auch keine vorhanden. Man erkennt an der Skizze nur, daß Illit und Chlorit häufig gleichsinnige Schwankungen zeigen, und daß der Kohlenstoff, der die Farbe des Gesteins bestimmt, sowohl in tonigen wie in kieseligen Bänken hoch sein kann.

Spektralanalyse. Kobalt, Nickel und Vanadium wurden im Kohlebogen mit dem Hilger Quarzspektrographen EI quantitativ, Kupfer halbquantitativ bestimmt. Diese Elemente sind in allen Proben vorhanden. Chrom und Molybdän sind nicht in allen Proben nachweisbar. Ihr Gehalt ist im allgemeinen außerordentlich gering.

Methodik. Die Kohlen wurden 10 sec mit 300 A Stromstärke kupferfrei geglüht. Palladium diente nach AHRENS¹ als innerer Standard, die 3421,3 Pd-Linie als Standard-Linie. Die Grundsubstanz der Eichmischungen war SiO₂. Dadurch entsteht für SiO₂-arme Proben ein zusätzlicher Fehler.

Die Genauigkeit der Bestimmungen beträgt für Nickel 20%, für Vanadium 30%, für Kobalt wegen der geringen Mengen 40%.

13 Proben von dunklen Lyditen aus dem Profil Wallau Schießhalde wurden analysiert. Die Analysenergebnisse sind in Tabelle 3 aufgeführt. Vergleichsweise werden die von SCHNEIDERHÖHN⁴⁴ an Lyditen und Alaunschiefern des Rheinisch-Westfälischen Kulms ermittelten

Tabelle 3. *Gehalt an Spurenmetallen in g/t von 13 dunklen Lyditen und Vergleichsdaten von SCHNEIDERHÖHN*

	Proben Wallau		Proben Schneiderhöhn	
	Mittel	Schwankung	Mittel	Schwankung
Ni	100	50—180	3—400	200—2000
V	165	60—270	100	50—200
Co	15	10—20		
Cu	80	10—150	20	10—50

Werte von Nickel, Vanadium und Kupfer angegeben. Die Übereinstimmung ist schlecht. SCHNEIDERHÖHN betont die großen Unterschiede zwischen Proben verschiedener Fundpunkte und auch des gleichen Profils. Bei den hier angeführten Elementen ist diese Bemerkung nur für das Nickel zutreffend. Der Vanadium- und Kupfergehalt zeigt trotz des sehr unterschiedlichen Probematerials (schwarze, pyritführende Tonschiefer, schwarze \pm Alaunschiefer, Toneisensteinbänkechen, Lydite) eine erstaunlich geringe Schwankung.

Bei den dunklen Lyditen des Profils Wallau Schießhalde ist das Verhältnis der Spurenmetallgehalte zueinander innerhalb enger Grenzen konstant. Deshalb wurde die Summe der Co-Cu-Ni-V-Werte in geeignetem Maßstab neben dem Mineralbestand graphisch dargestellt (Abb. 5). Die Spurenmetalle sind offenbar an das Bitumen und an die Tonsubstanz gebunden. Relativ bitumenarme, tonige Proben (Nr. 6) können mehr Spurenmetalle enthalten als bitumenreiche, kieselige Proben (Nr. 1). Die Proben Nr. 12 und 13 sind bereits etwas tuffig. Sie enthalten mehr Vanadium als normale, dunkle Lydite (s. S. 70); dadurch wird der Summenwert der Schwermetalle erhöht.

b) Tonschieferzwischenlagen. Die dunklen Lydite werden durch mehr oder weniger schwarze Tonschieferzwischenlagen getrennt. Die Grenze zwischen Lydit und kieseligem Tonschiefer ist fließend und wird hier willkürlich bei etwa 80 % SiO₂

Tabelle 4. Chemische Analyse und Gehalt an Spurenmetallen in g/t von 6 Tonschieferzwischenlagen

	Probe Nr.						Spurenmetalle	
	14	15	16	17	18	19	Mittel	Schwankung
SiO ₂	80,5	74,5	75,5	77,6	79,5	79,5	Ni	130
Al ₂ O ₃	7,2	9,0	12,0	11,0	9,8	10,8	V	270
Fe ₂ O ₃	4,1	6,4	3,3	2,7	2,4	2,4	Co	15
TiO ₂	0,18	0,16	0,28	0,13	0,12	0,16	Cu	100
MnO	0,05	0,12	0,04	0,07	0,04	0,10		110—160
P ₂ O ₅	0,04	0,08	0,07	0,03	0,23	0,02		140—450
CaO	0,2	0,1	0,3	0,2	0,2	0,2		10—30
MgO	1,7	1,8	1,1	1,5	0,9	0,5		90—>150
Na ₂ O	0,4	0,6	0,5	0,4	1,2	0,4		
K ₂ O	1,4	1,8	1,9	2,0	1,8	2,8		
H ₂ O ⁺	3,7	4,1	4,4	3,5	3,0	3,2		
H ₂ O ⁻	0,6	1,0	0,7	0,5	0,2	0,5		
C	0,31	1,02	0,85	0,80	1,34	0,31		
CO ₂	n. b.	n. b.	n. b.	n. b.	n. b.	0,01		
	100,38	100,68	100,94	100,43	100,73	100,90		

Zu Tabelle 4

Probe Nr.	Aussehen	Profilhöhe cm
14	tonig-schiefriger Lydit	50,0— 54,0
15	schwarzer kieseliger Tonschiefer (kompakt)	72,2— 73,2
16	schwarzer kieseliger Tonschiefer (plattig)	88,2— 89,2
17	hellgrauer, kieseliger Tonschiefer	107,6—109,4
18	schwarzer kieseliger Tonschiefer	246,3—248,3
19	schwarzer kieseliger Tonschiefer	673,1—275,0

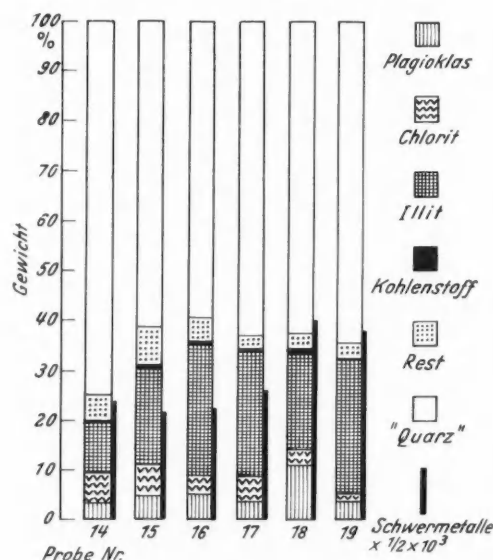


Abb. 6. Zu Tabelle 4: Graphische Darstellung des Mineralbestands von 6 Tonschieferzwischenlagen

festgelegt. Proben, die weniger als 80% SiO₂ enthalten, sind nicht mehr bankig, sondern plattig oder schiefrig ausgebildet. Ihre Mächtigkeit beträgt meistens nur ± 1 cm.

Röntgenanalyse. Von 14 Proben zeigen alle sämtliche Quarzreflexe, ferner Reflexe von muskovitähnlichem Glimmer, der mit mehr oder weniger großen Mengen von quellfähigem Material wechselgelagert ist, zuweilen auch auffallend starke Plagioklaslinien (s. Analyse Nr. 18). In 2 Proben wurde Montmorillonit als Hauptbestandteil neben Quarz und Glimmer beobachtet. Nur in einer Probe trat der stärkste Reflex von Pyrit auf. Tabelle 4 bringt die chemischen Analysen und den Gehalt an Spurenmetallen von 6 Proben (graphische Darstellung Abb. 6).

Bemerkungen zum Kohlenstoffgehalt. Die Farbe der Tonschiefer wird nur durch den Kohlenstoffgehalt bestimmt, der in Einzelfällen bis über 6% betragen kann (s. Analyse A, S. 77).

Der Kohlenstoffgehalt der Kiesel-schiefer steht in keinem Verhältnis zu der Häufigkeit an Organismen. In den extrem kohlenstoffreichen Tonschiefern konnten nur wenige Radiolarien beobachtet werden. Die

radiolarienreichen Harzer Proben haben dagegen durchweg einen sehr geringen Kohlenstoffgehalt (Analysen S. 81). Auch das Lesestück vom Hohenfels (Bl. Buchenau), das man als Radiolarit bezeichnen kann, enthält wenig Kohlenstoff (Tabelle 5). — Das Bitumen ist nicht extrahierbar. Wahrscheinlich ist ein großer Teil, besonders in den Tonschieferzwischenlagen, von Pflanzen geliefert worden. Auf den Schichtflächen tuffiger Zwischenlagen findet man zuweilen sehr zahlreiche Pflanzenreste.

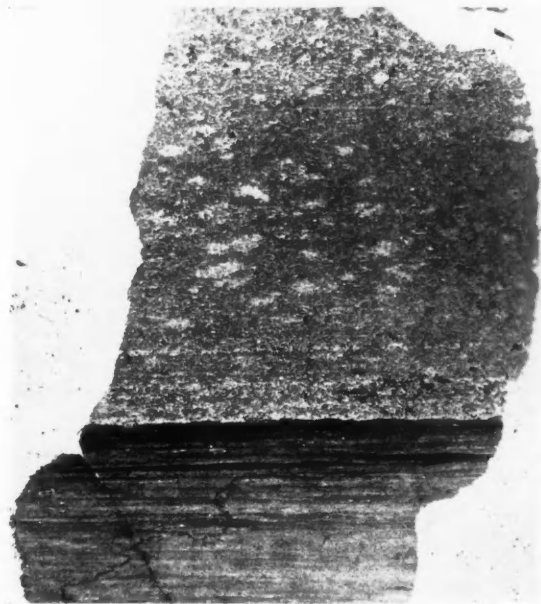


Abb. 7. Dünnschliff von einem tuffigen Lydit. $V = 3 \times$

e) Tuffige Lydite. Die bei der Profilbeschreibung erwähnten porös-fleckigen Lydite oberhalb des Mangan-

Tabelle 5. *Chemische Analyse und Gehalt an Spurenmetallen in g/t des Radiolarits von Hohenfels*

SiO ₂	95,5	
Al ₂ O ₃	1,9	
Fe ₂ O ₃	0,8	
TiO ₂	0,04	Spurenmetalle
MnO	0,03	
P ₂ O ₅	0,05	Ni 18
CaO	0,07	V 30
MgO	0,2	Co 15
Na ₂ O	0,2	Cu 20
K ₂ O	0,5	
H ₂ O ⁺	0,8	
H ₂ O ⁻	0,1	
C	0,17	
	100,26	

horizonts führen eine verstärkte Tuffbeimengung. Abb. 7 zeigt den Übergang von dunklem zu tuffigem Lydit. Tuffige Lydite sind grobkörniger und enthalten neben Quarz-Feldspataggregaten wenig Biotit und Chlorit, sowie vereinzelt Zirkon und Apatit. Die Schichtung ist sehr unruhig. Chlorit-sphärolithe mit einem Albitsaum treten in manchen Proben häufig auf (Abb. 8).

Optische Untersuchung. Bei allen Proben konnten eine Verdrängung von Kalzit durch Kieselsäure beobachtet werden. Im Dünnschliff erkennt man winzige Karbonatrete als Einschlüsse in größeren Quarz- und Feldspatkristallen. Das poröse Aussehen der Gesteine läßt vermuten, daß Kalzit ursprünglich in größerer Menge vorhanden war.

Die makroskopisch sehr deutlichen Flecken (\varnothing 0,5—1 mm) heben sich im Mikroskop schlecht von der Grundmasse ab. Bei den Wallauer Proben bestehen sie aus Quarz oder Quarz mit Albit. Die Größe der Einzelkristalle schwankt zwischen 1—20 μ . Ob es sich um Tuff-Fetzen handelt, kann nicht mit Sicherheit entschieden werden. Harzer Proben von den Heidelbeerköpfen, die nach Dünnschliffuntersuchung und nach der chemischen Analyse (Nr. 2181, S. 81) nicht als Tuffite* betrachtet werden können, und bei denen auch keine Verdrängung

* Tuffite sind nach MÜGGE³⁸ Sedimentgesteine mit einer Tuffbeimengung.

von Karbonat zu beobachten ist, zeigen makroskopisch gleiche Flecken. Sie bestehen aus mikrokristalliner Kieselsäure.

Röntgenanalyse. Die Röntgendiagramme der tuffigen Lydite zeigen gleichfalls alle Quarzlinien. Die Feldspatrefflexe sind stärker als bei den erstgenannten Lyditen. Chloritreflexe fehlen in manchen Proben. Die Muskovitlinien sind breiter und deuten Wechsellagerung an. Zwei Proben geben den ersten Basisreflex von Montmorillonit (lufttrocken) bei $14,8 \text{ \AA}$. Von der Korngröße $< 6 \mu$ dieser Proben wurden Texturaufnahmen gemacht, die den Befund der Guinieraufnahmen bestätigten. Die beiden Proben enthalten keinen Chlorit, so daß der Montmorillonit sicher zu erkennen ist.

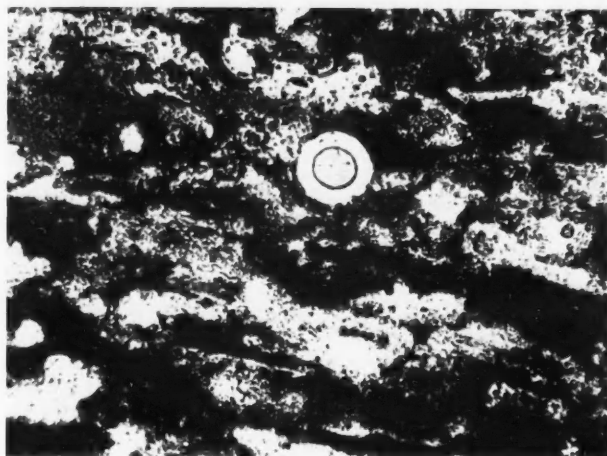


Abb. 8. Chlorit-Sphärolith mit Albitsaum. $V = 100 \times$

Chemische Analyse. Tabelle 6 bringt die Analysen von zwei charakteristischen tuffigen Lyditen. Die chemische Zusammensetzung der beiden Proben ist sehr ähnlich. Dagegen ist ihr Aussehen im Handstück und im Schliff verschieden und soll deshalb kurz beschrieben werden.

Probe Nr. 20 liegt 1 m über dem Manganhorizont und unterscheidet sich makroskopisch von einem dunklen Lydit nur durch die oben erwähnten Flecken. Im Schliff beobachtet man eine Wechsellagerung von 0,05–0,1 cm mächtigen grobkörnigen mit 0,5–1 cm mächtigen feinkörnigen Schichten. Die grobkörnigen Partien bestehen vorwiegend aus Albit und Quarz. Vereinzelt treten Biotit, Zirkon und Apatit auf. Die durchschnittliche Korngröße beträgt $\pm 50 \mu$. Eine Grundmasse ist nicht vorhanden. Ich nehme an, daß solche Horizonte rekristallisiertes Tuffmaterial ist, das ursprünglich in Kalk eingebettet war. Die Feldspäte und Quarze enthalten winzige Karbonateinschlüsse. Eine größere Stoffwanderung hat hier nicht stattgefunden, sonst würden sich diese Horizonte im Dünnschliff nicht so deutlich von den angrenzenden Schichten abheben. Außerdem enthalten viele Feldspäte noch Anhäufungen von dem gleichen Chlorit, den sie in anderen, nicht umkristallisierten Proben als Sphärolithe führen (Abb. 8). Die feinkörnigen Partien bestehen aus mikrokristallinem Quarz mit wenig Tonsubstanz. Darin eingestreut liegen zahlreiche Quarz-Feldspataggregate und Chaledonsphärolithe, die wahrscheinlich Radiolarien waren. Eine größere Menge von Hohlräumen, die eine geringe Porosität des Gesteins bedingen, sind von Eisenoxyd und -oxydhydraten umrahmt. Offenbar ist Kalk weggelöst worden, als das Gestein bereits eine gewisse Festigkeit besaß.

Tabelle 6. Chemische Analyse von zwei tuffigen Lyditen

	Probe Nr.	
	20	21
SiO ₂	89,6	89,3
Al ₂ O ₃	4,3	4,7
Fe ₂ O ₃	1,8	2,5
TiO ₂	0,10	0,07
MnO	0,69	0,07
P ₂ O ₄	0,09	0,08
CaO	0,4	0,3
MgO	0,2	0,2
Na ₂ O	1,2	1,2
K ₂ O	0,5	0,3
H ₂ O ⁺	0,9	0,7
H ₂ O ⁻	0,3	0,1
C	0,49	n. n.
CO ₂	n. b.	n. b.
	100,67	99,52

Probe Nr. 21 liegt 5 m höher als Probe Nr. 20 und gleicht makroskopisch einem hellen Sandstein. Im Schliff sieht man in einer feinkörnigen Quarzgrundmasse zahlreiche größere Feldspataggregate, die ebenfalls sehr kleine Karbonateinschlüsse enthalten und eng mit der Grundmasse verzahnt sind. Offenbar ist die Umkristallisation durchgreifender gewesen als bei Probe Nr. 20. Außerdem sind sehr viele von Eisenoxyden umsäumte Hohlräume vorhanden. Manchmal beobachtet man kleine Albitkristalle, die in diese Hohlräume hineinwachsen. Vermutlich war diese Probe ursprünglich kalkreicher als Probe Nr. 20. Als Akzessorien sind vereinzelte Biotitblättchen, Zirkon und Apatit zu erwähnen.

Auf das reziproke Verhalten von Kalk- und Kieselsedimenten gegenüber sauren und basischen Lösungen hat CORRENS hingewiesen¹². Während die Be-

dingungen für eine Kalkbildung in den unteren dunklen Lyditen nicht erfüllt waren, wurden mit dem Übergang zu den bunten Lyditen Kieselkalkbänke in zunehmender Menge abgelagert. Die Ursache hierfür kann verschieden sein (Hebung, Temperaturänderung, Einwanderung einer Kalkfauna u. a.).

Ich nehme an, daß CO₂-haltige Porenlösungen den Kalk teilweise wieder auflösten. Reine, nicht tuffige Kalke blieben von diesem Vorgang unberührt, weil ihre Durchlässigkeit sehr gering ist. In tuffigen Kalken dagegen, die ein viel größeres Porenvolumen haben, wurde der Kalk praktisch restlos aufgelöst. Durch die Aufnahme von Kalk änderte sich der p_H-Wert der Porenlösungen. Sie wurden alkalischer und konnten so eine Umkristallisation von Quarz und Albit bewirken, wie in Probe Nr. 20 und vielen anderen Proben zu beobachten ist. Diese Deutung erhält eine zusätz-

liche Stütze durch die Eisenoxyde und -oxydhydrate, die die Hohlräume des Gesteins umsäumen. Auch dadurch wird gezeigt, daß zuerst saure Lösungen zirkulierten, die das Eisen transportierten, und danach alkalische Lösungen, aus denen es abgeschieden wurde. — Dieser Vorgang fand zu einem Zeitpunkt statt, als das Gestein bereits verfestigt war.

Spektralanalyse. Tabelle 7 bringt die Durchschnittswerte und die Schwankungen des Spurenmetallgehalts von 6 tuffitischen Lyditen.

Bemerkungen zum Vanadiumgehalt. Der Vanadiumgehalt der untersuchten Proben zeigt extrem große Schwankungen. Bei den dunklen Lyditen ist eine Beziehung zwischen Phosphor- und Vanadiumgehalt zu erkennen. Der Vanadiumgehalt liegt zwischen 60–270 g/t (Mittel 165 g/t), wobei die hohen Werte in ton- und kohlenstoffreichen Proben gefunden wurden. Bei den tuffigen Lyditen schwanken die Werte zwischen 430–970 g/t (Mittel 670 g/t). Es besteht keine Beziehung zwischen Phosphor- und Vanadiumkonzentration. Dies ist bei der ungleichmäßigen Beimengung von Apatit nicht anders zu erwarten. Schwieriger zu erklären ist der hohe Vanadiumgehalt. Eine kleine Erhöhung des Vanadiumgehalts wird durch die Tuffkomponente bewirkt (V-Gehalt der Tuffe: Mittel 340 g/t, s. S. 74). Der größte Teil stammt wahrscheinlich aus dem Kalk, der weggelöst wurde. Tabelle 8 bringt den Spurenmetallgehalt des Kieselkalks Nr. 22 und von einem verkieselten Kohlenkalk aus Velbert.

Tabelle 7. *Gehalt an Spurenmetallen in g/t von sechs tuffigen Lyditen*

	Mittel	Schwankung
Ni	80	70–160
V	670	430–970
Co	25	20–30
Cu	150	110–>150

Tabelle 8. *Gehalt an Spurenmetallen in g/t von zwei Kieselkalken*

	Probe Nr. 22	Velbert
Ni	30	50
V	1000	600
Co	10	10
Cu	20	50

Vanadium ist häufig in bituminösen Gesteinen angereichert. Da beide Kalke bituminös sind, ist diese Bedingung erfüllt. Es erscheint aber sonderbar, daß Vanadium in den bituminösen Lyditen nicht in gleicher Menge vorhanden ist. In extrem kohlenstoffreichen Lyditen kann zwar der Vanadiumgehalt, ebenfalls sehr hohe Werte erreichen (s. Proben Stift S. 77) im allgemeinen ist er aber niedrig. Vielleicht sind besondere Organismen für den hohen Vanadiumgehalt des Kalks verantwortlich. — Ferner kommen als Träger des Vanadiums in den tuffigen Lyditen die Eisenoxyd- und -oxydhydrate in Betracht. Nach GOLDSCHMIDT²⁰ können größere Mengen von Vanadium in den limonitischen Rückständen von Kalken angereichert sein. — Wahrscheinlich ist nicht einer der hier ange-

Tabelle 9. *Chemische Analysen von einem roten (Nr. 8589) und einem grünen (Nr. 51) kieseligen Tonschiefer und Gehalt an Spurenmetallen in g/t.*

	Probe Nr.			Probe Nr.	
	8589	51		8589	51
SiO ₂	70,6	74,5	Spurenmetalle		
Al ₂ O ₃	14,2	14,0	Ni	90	40
Fe ₂ O ₃	4,5	1,8	V	500	230
FeO	0,0	1,0	Co	100	10
TiO ₂	0,20	0,22	Cu	20	40
MnO	0,07	0,06			
P ₂ O ₅	0,09	0,02			
CaO	0,1	0,2			
MgO	1,0	0,8			
Na ₂ O	0,06	0,1			
K ₂ O	3,2	3,2			
H ₂ O ⁺	5,1	4,3			
H ₂ O ⁻	0,3	0,5			
Mineralbestand	99,42 Quarz Illit Hämatit	100,70 Quarz Illit			

Tabelle 10. *Chemische Analyse und Mineralbestand von einem Kieselkalk (Nr. 22)*

SiO ₂	30,9	Kalzit	64,5%
Al ₂ O ₃	1,8	Quarz	28,4%
Fe ₂ O ₃	0,6	Mangan-	
TiO ₂	0,08	spat	0,5%
MnO	0,33	Albit	1,7%
P ₂ O ₅	0,14	Illit	4,0%
CaO	35,7	Rest	0,9%
MgO	Sp.		
Na ₂ O	0,2		
K ₂ O	0,4		
H ₂ O ⁺	0,5		
H ₂ O ⁻	0,1		
C	0,6		
CO ₂	28,0		
	99,35		

führten Faktoren allein wirksam, sondern alle zusammen bedingen den hohen Vanadiumgehalt.

d) **Bunte Lydite.** Die bunten Lydite im Hangenden der dunklen Lydite sind besser als kieselige Tonschiefer zu bezeichnen. Tabelle 9 bringt die Ergebnisse der chemischen, Spektral- und Röntgen-Analyse von einem roten (Nr. 8589) und einem türkisgrünen, kieseligen Tonschiefer (Nr. 51). Aus den Analysenergebnissen geht hervor, daß sich die Proben nur durch den Eisengehalt und die Oxydationsstufe des Eisens unterscheiden. Probe Nr. 51 ist trotz der merkwürdigen grünen Farbe völlig tufffrei.

e) **Kieselkalkbank.** In den bunten Lyditen treten vereinzelt Kieselkalkbänke auf als Vorboten einer neuen Fazies.

Optische Untersuchung. Trotz starker Umkristallisation gewinnt man den Eindruck, daß der Kieselkalk vorwiegend aus Schalen von Mikrofossilien besteht. Ob es sich dabei nur um verkieselte Kalk- oder auch um verkalkte Kieselorganismen handelt, ist nicht mehr zu erkennen. Pyritwürfel und neugebildete Albite sind stellenweise ziemlich häufig.

Tabelle 10 bringt die chemische Analyse und den daraus berechneten Mineralbestand, der optisch und röntgenographisch ermittelt wurde (Spurenmetalle s. Tabelle 8).

f) **Tuffzwischenlagen.** Die Aschenstruktur ist bei den Wallauer Tufflagen recht verwaschen. Gut erhalten blieb sie bei einer 1 cm mächtigen Tuffbank aus dem Bruch Eifa/Laisa (Abb. 9) und bei einer 2 cm mächtigen Bank von Altenau im Harz.

Fünf Tufflagen aus dem Profil an der Schießhalde wurden eingehend untersucht:

Nr. 23 bei 2,00 m: 2 cm gelbgraues, geschiefertes, feinsandiges Material.

Nr. 24 bei 2,80 m: 2 cm graugrünes, feinsandig-toniges Material (verkieselt).

Nr. 25 bei 3,80 m: 1,5 cm wie Nr. 23.

Nr. 26 bei 3,82 m: 2 cm graugrünes, geschiefertes, toniges Material.

Nr. 27 bei 6,10 m: 2 cm wie Nr. 23.

Optische Untersuchung. Die Proben 23, 25 und 27 gehören zu dem Tufftyp, der in den dunklen Lyditen weitaus vorherrscht. Dünnschliffe senkrecht zur



Abb. 9. Tuffbank aus dem Steinbruch an der Straße Eifa/Laisa. $V = 35\times$

Schichtung zeigen eine wellige Anordnung von Biotitblättchen. Darin eingestreut liegen Kristallbruchstücke von Quarz und Feldspat, vereinzelt Apatit, Zirkon und Erzpartikel (Korngröße 50–100 μ). Parallel zur Schichtung beobachtet man in den Biotiten neben einer beginnenden Chloritisierung zahlreiche Einschlüsse von Rutilnadeln und von Körnern, die eine höhere Lichtbrechung und schwache Doppelbrechung haben und wahrscheinlich in die Zoisit-Epidotgruppe gehören. Die Feldspäte können unter Erhaltung der äußeren Form in manchen Tufflagen fast völlig serizitisiert (Nr. 24) oder kaolinisiert (Nr. 23) sein. Die größeren Tufflagen gehen nach oben meistens in Tonlagen über, die sich seifig anfühlen, keine Kristallbruchstücke mehr enthalten, und deren Mineralbestand nur röntgenographisch zu ermitteln ist (Nr. 26). Dieser Übergang zu feinkörnigem Material dürfte

der natürlichen Sedimentierung entsprechen. Schwieriger zu erklären sind Tuffbänder, die sowohl nach oben wie nach unten tonig werden.

Röntgenanalyse und DTA. Die 5 Proben wurden geschlämmt. Die Fraktionen $< 2\mu$, $2-6\mu$ und $6-20\mu$ wurden röntgenographisch nach dem Textur- und Guinier-Verfahren untersucht. Von den Fraktionen $< 2\mu$ wurden DTA-Aufnahmen gemacht. Alle Fraktionen wurden mikroskopiert. Den Mineralbestand der einzelnen Fraktionen bringt Tabelle 11.

Tabelle 11. Mineralbestand der einzelnen Fraktionen von 5 Tuffzwischenlagen

Fraktion	23	24	25	26	27
$< 2 \mu$	Illit/Mont-morin Kaolinit	Illit/Mont-morin Quarz	Illit/Mont-morin Feldspat Biotit (Chlorit) (Quarz)	Illit/Mont-morin (Quarz) (Feldspat)	Illit/Mont-morin Kaolinit (Chlorit) (Biotit)
$2-6 \mu$	Illit/Mont-morin Kaolinit Biotit Chlorit (Quarz) (Feldspat)	Illit/Mont-morin Quarz (Chlorit)	Illit/Mont-morin Feldspat Biotit Chlorit (Quarz)	Illit/Mont-morin (Quarz) (Feldspat)	Illit/Mont-morin Feldspat Kaolinit (Biotit) (Chlorit) (Quarz)
$6-20 \mu$	Illit/Mont-morin Kaolinit Biotit Chlorit (Feldspat) (Quarz)	Illit/Mont-morin Quarz (Feldspat)	Illit/Mont-morin Feldspat Biotit Chlorit Quarz	Illit/Mont-morin (Quarz) (Feldspat)	Illit/Mont-morin Feldspat Kaolinit Biotit Quarz

() sehr wenig

Zu Tabelle 11. Die Reihenfolge der Minerale entspricht ihrem Mengenverhältnis. Chlorit und Biotit sind röntgenographisch neben Montmorillonit, Kaolinit und Quarz schlecht nachweisbar und wurden mikroskopisch im Streupräparat bestimmt. Nr. 24 hat in allen Fraktionen einen hohen Quarzgehalt, der bei keiner anderen Tuffprobe in dieser Höhe festgestellt wurde. Die optische Untersuchung zeigte, daß eine Einkieselung erfolgt ist. Die Grundmasse von Probe Nr. 24 besteht aus einem sehr dichten Gemenge von feinkörnigem Glimmer und Quarz. Sie enthält wenige Einsprenglinge von stark zersetztem Feldspat und Biotit und frischem Apatit. Die Probe mußte im Holzmörser zerkleinert werden.

Tabelle 12. Basisreflexe von Glimmern mit Wechsellagerung $< 2 \mu$ bei Glycerin- und Wärmeverbehandlung

Ordnung	Ohne Glycerin	Mit Glycerin	200° C	500° C
002	{ 11,4 10,15	17,8 9,81	11,50 10,15	9,81 dK _x —
004	4,94	4,94	4,94	4,94
006	3,32	3,39	3,33	3,29

Die Lage und Form der Glimmer-Basisreflexe sind bezeichnend für eine unregelmäßige Wechsellagerung von Glimmer- und Montmorin-Schichtpaketen (BRADLEY⁴). Am deutlichsten ist diese Erscheinung bei Probe 27 zu beobachten (Tabelle 12).

Die DTA-Kurven (Abb. 10) der Proben sind nicht sehr charakteristisch. Das ist bei Anwesenheit verschiedener Tonminerale nebeneinander nicht anders zu erwarten. Alle Aufnahmen wurden bei erhöhter Empfindlichkeit der von LIPPMANN³³ beschriebenen Apparatur gemacht. Am deutlichsten erkennt man bei Probe 23 eine Illit-Reaktion zwischen 550—600° und eine schwache Montmorin-Reaktion bei 720°.

Chemische Analyse. Tabelle 13 bringt die chemischen Analysen. Die Probe Nr. 24 wurde nicht chemisch analysiert, weil ihr wahrscheinlich sekundär Kiesel-säure zugeführt worden ist. Statt dessen wurde die Probe Eifa I analysiert, die die typische Aschenstruktur zeigt (Abb. 7).

Eine Berechnung des Mineralbestands auf Grund der chemischen Analysen ist nicht möglich, da die Zusammensetzung des Biotits, des Chlorits und des Illits nicht ermittelt werden kann. Das einzige Mineral, das sich mengenmäßig mit einer vernünftigen Genauigkeit angeben läßt, ist der Plagioklas. Die Angabe bezieht sich auf einen Plagioklas von 10% Anorthitgehalt (Feldspatbestimmung siehe diese Seite weiter unten).

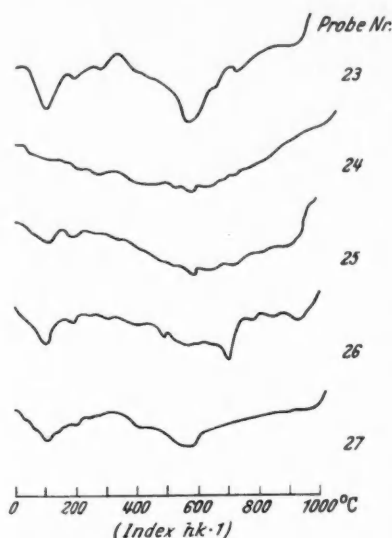


Abb. 10. DTA-Kurven der Proben Nr. 23, 24, 25, 26, 27. Fraktion < 2 μ

Spektralanalyse. Der Ni-Co-Cu-Gehalt der Tuffe (Tabelle 14) entspricht dem Durchschnittswert der Lydite. Der Vanadiumgehalt (Mittel 340 g/t) ist etwas höher und bewirkt, daß die Summe der Schwermetalle bei den Tuffen größer ist als bei dunklen Lyditen. Das Vanadium ist wahrscheinlich in den Glimmern enthalten. Die von BRAY⁷ untersuchten Muskovite enthalten bis zu 700 g/t, die Biotite bis zu 800 g/t Vanadium. — Der Zirkongehalt entspricht dem eines Granits und ist wesentlich größer, als für den Durchschnitt der Wallauer Kieselchiefer angegeben wird. (Mittel nach DEGENHARDT¹⁶ 16 g/t; die Lyditbank unter dem Tuff Nr. 23 enthält 50 g/t.) Das Vorkommen von Zirkon in den Tuffen wurde schon erwähnt. Es ist häufig idiomorph mit Anwachsstreifung.

Die Ergebnisse der Spektralanalyse bringt Tabelle 14.

Charakter der Feldspäte. Die Feldspäte wurden nach folgenden Methoden drehkonoskopisch bestimmt: Methode SCHUSTER, Methode FOUQUÉ und Zonen-

Tabelle 13. Chemische Analyse von Tuffzwischenlagen

	23	25	26	27	Elfa I
SiO ₂	49,4	50,2	47,5	50,1	51,4
Al ₂ O ₃	29,0	29,4	30,3	27,6	23,7
Fe ₂ O ₃	2,2	2,5	2,5	3,3	4,1
FeO	,69	,43	,29	,35	,94
TiO ₂	,11	,13	,16	,39	,30
MnO	,01	,01	,04	,16	,14
P ₂ O ₅	,19	,25	,14	,45	,18
CaO	,44	,62	,28	,78	,37
MgO	2,4	1,9	1,8	1,8	3,9
Na ₂ O	0,3	1,9	0,2	3,9	1,4
K ₂ O	5,6	4,7	6,5	3,2	4,9
H ₂ O ⁺	8,3	8,5	8,9	7,5	7,1
H ₂ O ⁻	1,9	0,4	1,0	1,0	1,5
CO ₂	0,01	0,04	0,03	0,15	n. b.
	101,05	100,98	99,64	100,68	99,94
Albit	3,12	17,3	1,9	36,6	13,2

Tabelle 14. Gehalt an Spurenmetallen in g/t in Tuffen

Probe Nr.	Ni	V	Co	Cu	Zr *
23	60	390	15	40	110
25	80	320	20	120	n. b.
26	70	280	15	60	40
27	70	360	15	80	180

* Herrn DEGENHARDT danke ich für die Zirkonanalysen.

Methode nach RITTMANN-EBERT, wobei die von TRÖGER angegebenen Kurven benutzt wurden. Außerdem wurde die Lichtbrechung gemessen nach der Einbettungsmethode und dem Phasenkontrastverfahren. Die Genauigkeit

der Anorthitbestimmung ist wegen der teilweise schon starken Zersetzung der Feldspäte nicht größer als $\pm 5\%$ An.

Feldspäte in den Tuffen: Abgesehen von 2 Ausnahmen (7% der Proben) enthalten alle untersuchten Tuffe im Wallauer Profil nur saure Plagioklase. Der

Anorthitgehalt liegt zwischen 0—15%. Für die Mehrzahl der Kristalle beträgt er 5—10%, während die Aggregate von kleinen, relativ frischen Feldspäten, die offenbar Entglasungsprodukte sind, einen Anorthitgehalt < 5% haben. Lichtbrechungsmessungen stimmen mit diesem Ergebnis überein, sind aber wegen des unfrischen Materials auch nicht so genau, daß man die Plagioklase danach eindeutig der Hoch- oder Tieftemperaturform zuordnen könnte (s. z. B. SCHWARZMANN⁴⁹). Die Achsenwinkel, die kein sehr empfindliches Charakteristikum für den Anorthitgehalt, wohl aber für die thermische Vorgeschichte des Feldspats darstellen, passen weder zu den Hoch- noch zu den Tieftemperatur-Plagioklasen von entsprechendem Anorthitgehalt. Die Genauigkeit der Achsenwinkel-Messung beträgt $\pm 3^\circ$. Die gemessenen Achsenwinkel von allen Proben liegen zwischen $2 V_\alpha$ 70—95°, innerhalb einer Probe schwankt die Größe von $2 V$ im allgemeinen nur um $\pm 5^\circ$. Der weitaus größte Teil hat einen Achsenwinkel zwischen 80—90°. Tabelle 15 (nach FÜCHTBAUER¹⁹) bringt eine Übersicht von Achsenwinkeln der verschiedenen Albit-Modifikationen.

Tabelle 15. Daten für Achsenwinkel von Albiten nach FÜCHTBAUER

Name	Indikatrix	$2 V_\alpha$
Analbit	Hochtemperaturform	38° (SCHWARZMANN)
Analbit	Hochtemperaturform	45° (TUTTLE und BOWEN)
Zwischenlagen nach KARL .	Mittellage	85—100°
Albit	Tieftemperaturform	100—104°
Split, Albit	Tieftemperaturform	92—101° (V. D. KAADEN)
Authigener Albit.	Tieftemperaturform	89—95° (FÜCHTBAUER)

In Probe Nr. 27 wurden 2 Feldspatbruchstücke mit Zonarbau gefunden. Der Rand bestand aus Albit, der Kern wahrscheinlich aus Oligoklas/Andesin ($n_x < 1,547$, $n_y > 1,547$ im Phasenkontrast; Teilchengröße 10—20 μ).

Die Tuffproben Eifa II, Beddelhausen 17 und Tuffe aus dem Harz enthalten Feldspäte, die eine beginnende Karbonatisierung zeigen. Der Anorthitgehalt liegt auch bei diesen Proben zwischen 0—15% An.

Außer den plagioklasführenden Tuffen wurden im Wallauer Profil zwischen 0,5—1 m zwei 0,2 cm dünne Tufflagen gefunden, die neben muskovitähnlichem Glimmer, Quarz und wenig Albit hauptsächlich Kalifeldspat enthalten. Dieser ist stark zersetzt und wurde nicht weiter untersucht.

Feldspäte in den Tuffiten. Die Feldspäte in den Tuffiten sind, wie oben beschrieben, weitgehend umkristallisiert. In ihren optischen Eigenschaften entsprechen sie häufig neugebildeten Albiten. Sie sind zum großen Teil optisch positiv. Die Achsenwinkel liegen zwischen 90—100°, der Anorthitgehalt schwankt von 0—5% An.

Wahrscheinlich haben auch die kleinen, relativ frischen Feldspäte in den Tuffen und die sphärolithischen Feldspataggregate in den Lyditbänken „Niedrigtemperaturoptik“. Der Achsenwinkel konnte in beiden Fällen nicht ermittelt werden.

Während die Glasfetzen in den meisten Tuffen zu Quarz-Feldspataggregaten auskristallisiert und/oder in Tonminerale umgewandelt sind, enthält die Probe Eifa I auch noch Material, das man für isotrop halten könnte. Abb. 11 zeigt einen solchen „Glastropfen“. Die eine Hälfte hat bei + Nikols deutliche Hell-

und Dunkelstellung, die andere nur ein fast unmerkliches Aufhellen (U-Tisch-Beobachtung). Der stärker anisotrope Teil hat eine Lichtbrechung von 1,526 bis 1,534. Die Lichtbrechung des fast isotropen Teils liegt im gleichen Intervall. Die dunkle Partie zeigt ein verwaschenes Achsenbild, das deutlich negativ ist, und hat einen Achsenwinkel von $35 \pm 5^\circ$. Die helle Partie ist gleichfalls negativ. Der Achsenwinkel ist $< 50^\circ$ und konnte nicht genau eingemessen werden. Teilchen mit diesen optischen Eigenschaften sind in Probe Eifa I sehr zahlreich und kommen vereinzelt in allen Tufflagen vor. Meistens sind sie nicht rund, sondern haben konkave oder auch schon geradlinige Begrenzung. Wahrscheinlich handelt es

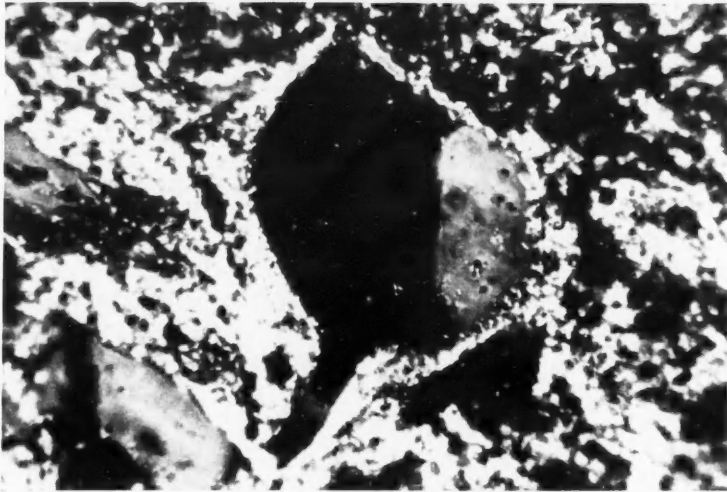


Abb. 11. „Glasteilchen“ aus dem Tuff Eifa I. + Nikols. $V = 300 \times$

sich in vielen Fällen um noch nicht völlig kristalline Albit-Substanz. Das Röntgenidagramm von Eifa I zeigt zwischen 6,38—2,56 dK_x sämtliche Plagioklaslinien. Sie sind ziemlich unscharf; die Intensitäten sind normal. Daneben enthält die Probe viel Chlorit, außerdem Quarz und muskovitähnlichen Illit. Biotit ist nicht vorhanden.

2. Vergleichsproben

a) Tuffe verschiedener Fundpunkte. Zwei dünne, grauweiße Tuffhorizonte aus der weiteren Umgebung von Wallau, die in schwarzen, kieseligen Tonschiefern liegen, enthalten keinen Biotit, keinen Chlorit und nur wenig Illit. Grobe Quarz-Feldspatbrocken (5—10% An; maximale Korngröße 0,4 mm) sind in eine kieselige Grundmasse eingebettet. Wahrscheinlich bilden diese Tuffbänder das Ausgangsmaterial für einen Typ, der besonders gut am Stift zwischen Wallau und Richstein zu beobachten ist.

In diesem Profil liegt zwischen Lyditbänken (Probe L) eine 3 cm mächtige alaunschieferähnliche Schicht (Probe A), die zahlreiche, meist abgeplattete Phosphoritknollen (Probe P) und einen 0,3 cm mächtigen, weißen Tuffhorizont (Probe T) führt.

Optische Untersuchung. Die sehr feinkörnige, weiße Tuffprobe enthält als grobe Bestandteile nur stark zersetzte Feldspäte und Quarz.

Der Lydit ist normal ausgebildet. Etwa 50% der Sphärolithe sind Chlorit-Albit-Aggregate.

Die Phosphoritknolle besteht im wesentlichen aus einem schwammartigen Gerüst von Apatit und aus organischer Substanz. Eine gute Beschreibung von kulmischen Phosphoritknollen mit vielen Analysen findet man bei LEHDER³². Die hier untersuchte Knolle entspricht seinem phosphatreichsten Typus. Eine neuere Arbeit über rezente Phosphoritknollen ist 1942 von DIETZ, EMERY und SHEPARD veröffentlicht worden^{16a}.

Der schwarze Tonschiefer ist wegen des hohen Kohlenstoffgehalts für optische Untersuchungen ungeeignet.

Tabelle 16 bringt die chemischen Analysen, den röntgenographisch ermittelten Mineralbestand und den Gehalt an Spurenmetallen der angeführten Proben.

Weißer montmorillonitische Tuffe in extrem kohlenstoffreichen Tonschiefern, die gleichfalls Montmorillonit enthalten, wurden auch an anderen Stellen beobachtet. Zwei ähnliche Proben aus dem Profil Wallau wurden röntgenographisch untersucht. Das Ergebnis entsprach den Befunden am Stift.

Ein Dünnschliff von einer weißen Tonlage zeigt mit Phasenkontrast noch Andeutung von Aschenstruktur.

Trotz der schlechten Aufschlüsse lassen sich auch im Harz zahlreiche Tuffhorizonte in den kulmischen Kiesel-schiefern einwandfrei erkennen. Drei Tufflagen wurden optisch und röntgenographisch untersucht. Der Mineralbestand und die Korngröße entsprechen vollkommen den biotitreichen Albit-Quarztuffen der Wallauer Umgebung.

Außer diesen dünnen Tufflagen gibt es im Harz kulmische „Adinolen“, die in den oberen bunten Lyditen z. B. bei Lerbach auftreten und bereits von MILCH³⁷ als verkieselte Tuffe erkannt wurden. Diese Gesteine sind nicht auf den Harz

Tabelle 16. Chemische Analyse, Mineralbestand und Gehalt an Spurenmetallen in g/t von Proben aus dem Profil am Stift.

A = schwarzer, alaunschieferähnlicher Tonschiefer;
T = weißer Tuff; P = Phosphoritknolle; L = Lydit

	A	T	P	L
SiO ₂	63,0	55,1	12,7	88,0
Al ₂ O ₃	16,5	25,7	n. b.	4,7
Fe ₂ O ₃	1,8	1,7	0,4	1,6
FeO	n. b.	0,18	n. b.	n. b.
TiO ₂	0,25	0,39	0,02	0,13
MnO	0,03	Sp.	0,06	0,02
P ₂ O ₅	0,10	0,24	32,8	0,04
CaO	0,46	0,43	42,1	0,18
MgO	0,6	0,7	n. b.	0,3
Na ₂ O	2,9	2,0	0,35	0,6
K ₂ O	2,2	2,0	0,2	0,7
H ₂ O ⁺	5,1	11,0	4,7	1,7
H ₂ O ⁻	1,3	1,3	3,1	0,4
C	6,42	n. n.	n. b.	2,04
S	0,06	n. b.	n. b.	0,04
	100,72	100,75	96,43	100,45
	Quarz	Montmorin	Apatit	Quarz
	Feldspat	Illit	Montmorin	Illit
	Illit	Quarz	Quarz	Feldspat
	Montmorin	Feldspat (Kaolinit)	(Feldspat)	(Montmorin) (Chlorit)

Zu Tabelle 16

Probe Nr.	Ni	V	Co	Cu
A	350	1700	30	> 150
T	130	520	10	20
P	290	440	10	70
L	210	1100	30	150

beschränkt. In dem Bruch zwischen Eifa und Laisa treten in den bunten Lyditen mehrere Bänke kieseliger Tuffe auf. Ihre Mächtigkeit schwankt von 10—50 cm: die Gesamtmächtigkeit beträgt etwa 2 m. Auch bei Damshausen (Bl. Buchenau) und bei Wallau (Bl. Laasphe) kommen ähnliche Gesteine vor, wie an Proben aus der Institutsammlung festgestellt wurde.

Die kieseligen Tuffe können durch rotgrüne Bänderung auffallen, sie können aber auch makroskopisch einem Kieselkalk oder einem hellen Lydit so ähnlich sein, daß man sie ohne optische oder chemisch-röntgenographische Analyse nicht unterscheiden kann. Umgekehrt sind keinesfalls alle auffallend gefärbten bunten Lydite kieselige Tuffe.

Optische Untersuchung. In einer feinkristallinen Quarz-Albit-Grundmasse liegen zahlreiche größere Karbonat- und Albitfetzen, sowie Biotit- und Chlorit-

blättchen. Stellenweise ist eine Andeutung von Aschenstruktur vorhanden. Manche Proben sind von Karbonatadern durchzogen, andere von Quarzadern, die auch Albit enthalten.

Chemische Analyse. Tabelle 17 bringt zwei chemische Analysen und eine Berechnung des nach Röntgendaten und nach der optischen Untersuchung ermittelten Mineralbestandes. Bei der „Adinole“ 2654 von Lerbach (Harz) wurde das MnO und ein Teil des FeO als Karbonat berechnet. Röntgenographisch

Tabelle 17. *Chemische Analysen und Mineralbestand von zwei kieseligen Tuffen („Adinolen“)*

„Adinole“ Lerbach 2654		„Adi- nole“ E V	Mineralbestand	
				Nr. 2654 Nr. V
SiO ₂	71,8	73,7	Albit	48,5 58,0
Al ₂ O ₃	11,4	13,0	Quarz	36,0 31,5
Fe ₂ O ₃	0,5	1,79	Chlorit	6,5 n. n.
FeO	1,3	n. b.	Biotit	n. n. 2,5
TiO ₂	0,10	0,10	Illit	3,0 4,0
MnO	0,48	0,15	Kalzit	n. n. 2,0
P ₂ O ₅	0,07	0,03	Dolomit	5,0 n. n.
CaO	1,5	0,86	Rest (Ti, P, C, Fe) .	1,0 2,0
MgO	2,2	0,36		
Na ₂ O	5,5	6,8		
K ₂ O	0,6	0,5		
H ₂ O ⁺	2,0	0,7		
H ₂ O ⁻	0,02	0,02		
C	Sp.	0,50		
CO ₂	2,3	0,70		
	99,77	99,21		

wurde nur Dolomit nachgewiesen. Dagegen enthält die „Adinole“ Eifa V ausschließlich Kalzit, was auch für zwei andere Proben vom gleichen Fundort zutrifft.

Zusammenfassend kann man feststellen: In kulmischen Kieselschiefern treten vier verschiedene Typen von Tuffen auf:

1. Biotit-Albit-Quarz-Tuffe (Umwandlung in Illit/Montmorin-Tone).
2. Albit-Quarz-Tuffe (Umwandlung in Montmorin-Tone).
3. Kalifeldspatführende Tuffe.
4. Kieselige Tuffe („Adinole“).

Typ 3 bleibt unberücksichtigt, weil er sehr selten und stark zersetzt ist.

Typ 1 herrscht in den dunklen Lyditen vor. Typ 2 ist wahrscheinlich in den bunten Lyditen häufiger, denn das tuffige Material der höheren Bänke entspricht einer biotit- und chloritarmen Tuffkomponente. — Typ 4 tritt vorwiegend in den bunten Lyditen auf.

Bemerkungen zum Charakter und zur Herkunft der Tuffe. Im Anschluß an die Untersuchungen in Wallau und im Harz ergeben sich bezüglich der Tuffe zwei Fragen: 1. Was sind es für Tuffe? 2. Wo stammen sie her?

Zunächst sei kurz auf die Literatur hingewiesen, die über saure Tuffe des Unterkarbons erschienen ist:

Tuffverdächtige Kalke in den oberen bunten Lyditen auf Blatt Laasphe und Biedenkopf werden von SCHMIERER⁴³ und REICH⁴⁰ erwähnt. Ein Horizont von Biotit-Quarzporphyrituff im höheren Posidonienschiefer (Kulm III _{α - β}) wird von CLAUS⁹ beschrieben. Über Quarzkeratophyrtuffe auf Blatt Goddelsheim, die bis in die III _{γ} -Stufe reichen, berichtet HAUBOLD²⁴. KOCH soll bereits Ende des vorigen Jahrhunderts vermutet haben, daß die kulmischen Lydite im Harz tuffige Einlagerungen führen. (Von ERDMANNSDÖRFER in den Erl. zu Bl. Elbingrode erwähnt ohne Zitat. Die Arbeit wurde vergeblich gesucht.) Gleichfalls bemerkt SCHWARZ⁴⁷ ohne Literaturhinweis oder Begründung, daß Einschaltungen von „Grauwacken“ in Lyditen im Bahneinschnitt von Herborn, im Hessischen Hinterland und im Harz als Tuffe erkannt wurden. Ein Teil der Harzer Adinolen sind nach MILCH³⁷ Quarzkeratophyrtuffe und älter als III _{α} . Ferner berichtet GUNDLACH²² über Quarzkeratophyrtuffe in Sachsen und Thüringen. Davon ist nur der Tuff von Neugattendorf stratigraphisch sicher einzuordnen. Er liegt „etwa 25 cm über der Gattendorfia-Stufe, also vielleicht im Horizont der Geigerschiefer“ und enthält Biotit und Albit in serizitischer Grundmasse. Der von SCHÜLLER⁴⁵ beschriebene Keratophyrtuff von Wildenfels im Vogtland ist dem Kohlenkalk (Visé) eingelagert. Saure Tuffe kommen nach SARGENT⁴² auch im Kohlenkalk von Cornwall vor. HINDE²⁷ erwähnt linsenförmige, vulkanische Einschaltungen in den kulmischen Kieseliefen der Coddon-Hill-Beds (Cornwall).

Der Quarzkeratophyrecharakter der so benannten Tuffe ist nicht aus allen oben angeführten Beschreibungen ersichtlich. Sicher handelt es sich aber in allen Fällen um saure Tuffe. Auf die außerordentlich große Menge und Verbreitung saurer Tuffe in vielen erdgeschichtlichen Perioden hat kürzlich ROSS⁴¹ aufmerksam gemacht.

Zum Charakter der Tuffe. Eine klassische Untersuchung von unterdevonischen Quarzkeratophyren und ihren Tuffen wurde von MÜGGE³⁸ ausgeführt. Der von ihm beschriebene massige Quarzkeratophyr führt als Einsprenglinge Quarz, Albit und wenig Biotit. Akzessorien sind Zirkon und „Leukoxen“. Diese Zusammensetzung entspricht qualitativ dem Mineralbestand, den die meisten Tuffe der kulmischen Kieseliefer haben. Nur Apatit fehlt. Er könnte nach MÜGGE in den Biotiten eingeschlossen sein. Die Tuffe, die MÜGGE teils von Quarzkeratophyren, teils von Felsokeratophyren ableitet, enthalten keinen Biotit, teilweise allerdings Chlorit. Einige führen viel Apatit (Erklärungsversuche s. MÜGGE). — Weil ich keine passendere Benennung finden kann, möchte ich die Tuffe der kulmischen Kieseliefer als Quarzkeratophyrtuffe im Sinne MÜGGES bezeichnen. Doch geschieht dies mit Vorbehalt, da MÜGGES Tuffe und die kulmischen Tuffe im großen gesehen zwar recht ähnlich sind, im einzelnen aber doch manche Unterschiede aufweisen.

Zur Herkunft der Tuffe. Das den Wallauer Kieseliefen nächstgelegene saure Ergußgestein ist der schon von CORRENS¹³ beschriebene Quarzkeratophyr von Eckelshausen (Probe E₁). Stratigraphisch wird er an die Grenze Oberdevon/Kulm gestellt. In dem Keratophyr tritt ein weißliches, stark zersetztes Gestein auf (Probe E₂), das wahrscheinlich pegmatitisch ist. Beide Gesteine wurden optisch, röntgenographisch und chemisch analysiert (Tabelle 18).

Aus der Analyse von Probe Nr. E I geht hervor, daß es sich um einen eingekieselten Quarzkeratophyr handelt. Im Schliff sieht man in einer grobkristallinen Quarz-Albit-Grundmasse zahlreiche größere Feldspatkristalle. Sie heben sich kaum von der Grundmasse ab, weil sie zahlreiche Einschlüsse von

Quarz und wahrscheinlich Muskovit enthalten. Sie sind meistens nach dem Albitgesetz verzwillingt und haben einen An-Gehalt zwischen 0—5%. Außer Erzpartikeln tritt vereinzelt ein völlig zersetztes mafisches Mineral auf, das möglicherweise ein Pyroxen war. Die Probe E II zeigt nur eine feinkörnige Quarz-Feldspat-Grundmasse. Bei einfach polarisiertem Licht erkennt man darin eine große Zahl von Pseudomorphosen nach einem unbekannten Mineral. Die Umrisse sind kubisch oder hexagonal (Mittel $\pm 0,1$ mm) und durch eine geringe Anreicherung von Eisenoxyd kenntlich gemacht.

Tabelle 18. *Chemische Analysen und Mineralbestand des Quarzkeratophyrs von Eckelshausen*

	Chemische Analyse		Mineralbestand	
	E I	E II	E I	E II
SiO ₂	89,4	79,5	Quarz	Quarz
Al ₂ O ₃	4,9	12,7	Albit	Albit
Fe ₂ O ₃	1,6	1,0		Kaolinit
TiO ₂	0,11	0,33		
MnO	0,01	0,01		
P ₂ O ₅	0,02	0,06		
CaO	0,11	0,24		
MgO	0,01	n. n.		
Na ₂ O	2,7	3,2		
K ₂ O	0,4	0,06		
H ₂ O ⁺	0,5	3,0		
H ₂ O ⁻	0,1	0,2		
C	0,34	—		
	100,20	100,30		

Die Albite des Quarzkeratophyrs sind durch ihre Einschlüsse und durch die starke Zwillingslamellierung sehr verschieden von den Albiten, die in den Tuffen auftreten. Es ist deshalb abgesehen von anderen Unterschieden, unwahrscheinlich, daß ein genetischer Zusammenhang besteht. — Es liegt kein zwingender Grund vor, das Ursprungsgestein der Tuffe in unmittelbarer Nähe zu suchen. Die Tatsache, daß die gleichen Tuffe im Harz vorkommen, läßt auch ein weiter entferntes Eruptivzentrum möglich erscheinen.

b) Kulmische Kieselschiefer aus dem Harz. Einige Proben aus dem Harz wurden untersucht, um zu sehen, wieweit die in Wallau gewonnenen Kenntnisse verallgemeinert werden dürfen.

Die Lydite unterscheiden sich nicht wesentlich voneinander. Die untersuchten Harzer Proben haben einen höheren Mangan-Gehalt. Tabelle 19 bringt die chemischen Analysen und den optisch und röntgenographisch ermittelten Mineralbestand von folgenden Proben:

Probe Nr.	Aussehen	Fundpunkt
2649	schwarzer Lydit	Steinbruch Seesen/Lautenthal
2660	grauer, kieseliger Tonschiefer	Lerbacher Hüttenteich
2181	gefleckter, schwarzer Lydit	Heidelbeerköpfe

c) Silurische Kieselschiefer. Einige Silur-Lydite wurden untersucht. Sie dienen lediglich als Vergleichsmaterial für spezielle Fragen.

Probe Döbra Berg ist ein recht kompakter, schwarzer Lydit. Feinschichtung wird nur durch eine maximal 1 cm mächtige Einlagerung von weißem, etwas porösem Material angedeutet. Ähnliche weiße Linsen findet man auch zuweilen in kulmischen Lyditen. HINDE²⁷ erwähnt sie und bemerkt, daß sie besonders reich an Radiolarien sind. Diese Beobachtung konnte an Probe Döbra Berg bestätigt werden. Gelegentlich kommen auch Foraminiferen in größerer Menge vor*.

* Freundliche Mitteilung von Herrn Professor H. SCHMIDT.

Die Radiolarien sind meistens so weitgehend umkristallisiert, daß man sie nicht mehr erkennt. Nur an einem Schliff von Döbra Berg läßt sich feststellen, daß das weiße Material vorwiegend aus Radiolarien besteht. Daneben beobachtet man zahlreiche Löcher. Möglicherweise sind Foraminiferen aufgelöst worden. In der gleichen Probe wurden Reste von Chitinskeletten gefunden. Herr Professor H. SCHMIDT, dem ich für diesen Hinweis vielmals danke, ist der Ansicht, daß es sich um Grapholithen handelt. — Vorkommen dieser Art enthalten wenig oder keinen Kohlenstoff und relativ viel Phosphor. Ich nehme an, daß Schalen

Tabelle 19. *Chemische Analysen und Mineralbestand von kulmischen Lyditen aus dem Harz*

	Probe Nr.		
	2649	2660	2181
SiO ₂	90,6	80,8	89,6
Al ₂ O ₃	4,0	9,7	4,8
Fe ₂ O ₃	1,8	2,9	1,6
FeO	n. b.	n. b.	n. b.
TiO ₂	0,05	0,16	0,10
MnO	0,60	0,16	0,10
P ₂ O ₅	0,06	0,05	0,04
CaO	0,4	0,1	0,2
MgO	1,0	0,8	0,4
Na ₂ O	0,1	0,5	0,3
K ₂ O	0,6	1,8	0,8
H ₂ O ⁺	1,3	2,8	2,3
H ₂ O ⁻	0,1	0,4	0,1
C	0,06	0,05	0,13
CO ₂	n. b.	n. b.	n. b.
Albit	100,67	100,22	100,47
Chlorit	1,1	5,0	2,8
Illit	3,5	2,7	1,5
„Quarz“	8,2	22,0	10,6
Rest	84,5	66,9	82,2
	2,7	3,4	2,9

Tabelle 20. *Chemische Analyse und Mineralbestand von silurischen Kieselchiefern*

A₁ weiß: weiße Linse in dunkel und hellgrau geschichtetem Lydit; A₁ grau: dunkelgraue Lage aus dem gleichen Lydit; A₅: Lydit mit ausgeprägter Feinschichtung (helle und dunkle Lagen)

	A ₁ weiß	A ₁ grau	A ₅	Döbra Berg
SiO ₂	97,6	97,5	97,5	96,0
Al ₂ O ₃	0,8	1,2	0,9	0,8
Fe ₂ O ₃	0,15	0,14	0,2	0,3
TiO ₂	0,02	0,03	0,03	0,02
MnO	0,04	0,01	n. n.	Sp.
P ₂ O ₅	0,44	0,04	0,20	0,02
CaO	Sp.	Sp.	0,15	0,07
MgO	Sp.	Sp.	Sp.	Sp.
Na ₂ O	0,02	0,04	0,02	0,04
K ₂ O	0,1	0,2	0,2	0,2
H ₂ O ⁺	0,60	0,45	0,43	0,41
H ₂ O ⁻	0,08	n. n.	0,14	0,06
C	n. n.	0,46	0,26	1,62
	99,87	100,07	100,03	99,54
Quarz	Quarz	Quarz	Quarz	Quarz
Al-Phosphat ?	Illit	Illit	Illit	Illit

von Mikrofossilien lokal zusammengeschwemmt wurden. — Der schwarze Lydit von Döbra Berg enthält so viel gleichmäßig verteiltes Bitumen, daß man die Struktur der Grundmasse nicht erkennen kann. Nur einzelne Radiolarien heben sich ab.

Die Proben von Altmannsgrün sind deutlich geschichtet. 0,2—1 cm mächtige dunkel- und hellgraue Lagen wechsellagern. Dazwischen treten weiße Linsen auf, wie bei Döbra Berg beschrieben. Die Struktur der Grundmasse ist mikroquarzitisch. Die Größe der verzahnten Quarzkörner beträgt 1—10 μ . Die Grundmasse der dunklen Partien enthält fein verteiltes Bitumen und Sphärolithe aus mikrokristallinem Quarz, die offenbar Radiolarien waren. Tabelle 20 bringt die chemischen Analysen und den optisch und röntgenographisch ermittelten Mineralbestand.

Bei der Probe A₁ weiß konnten 3 Röntgenlinien nicht identifiziert werden. Sie liegen bei 5,72 (w), 4,66 (w) und 2,95 (m) Å. Wahrscheinlich handelt es sich um ein Aluminiumphosphat (s. chemische Analyse).

V. Untersuchung der Kieselsäure

Die Kieselsäure ist der Hauptbestandteil von Kieselchiefern aller geologischen Formationen. Diese Tatsache führt zu folgenden Fragen:

1. In welcher Form liegt die Kieselsäure heute im Sediment vor?
2. Welche Veränderungen hat sie seit der Bildung des Sediments erfahren?
3. Welcher Prozeß kann zu einer derartigen Anreicherung von Kieselsäure führen?

Eine Beantwortung der beiden ersten Fragen wird versucht. Die 3. Frage kann nur diskutiert werden.

Zu 1. Alle untersuchten Lyditproben (außer den Monterey-Proben) zeigen im Röntgendiagramm sämtliche Quarzreflexe mit normalen Intensitäten. Die Aufnahmen der silurischen Proben haben geringere Untergrundschrägung, und die Linien sind schärfer als

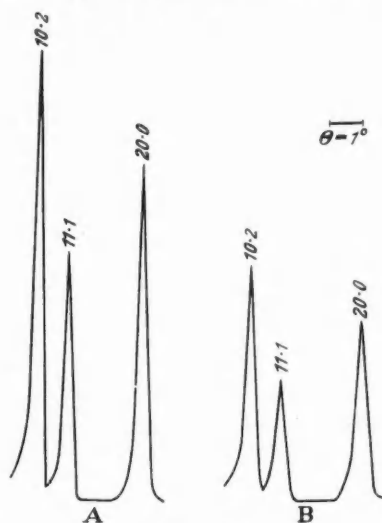


Abb. 12 A u. B

Abb. 12 A u. B. Photometerkurven von Guinier-Aufnahmen. Der Untergrund von Probe B wurde korrigiert. Ohne Korrektur liegt die Kurve 1 cm höher. A Silur-Lydit: 97 % Quarz, 2 % Tonminerale. B Kulm-Lydit: 77 % Quarz, 15 % Tonminerale, 4 % Feldspat, 2 % Fe_2O_3

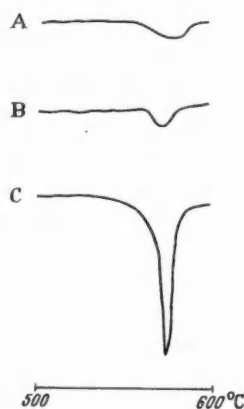


Abb. 13 A—C

Abb. 13 A—C. DTA-Kurven von Quarz-Reaktionen. A Kulmischer Lydit, B Algonkischer Lydit, C Silurischer Lydit

bei den kulmischen Lyditen (Abb. 12). Die Proben sind wegen der sehr unterschiedlichen Menge an Nebenbestandteilen schlecht zu vergleichen. Probe B entspricht der Durchschnittszusammensetzung der untersuchten Kulmlydite. — Die Lichtbrechung der mikrokristallinen Quarzgrundmasse von Kulmlyditen entspricht genau den für Quarz angegebenen Werten.

Trotz der starken Quarzreflexe beobachtet man bei den meisten Lyditen keine α/β -Quarzumwandlung. TUTTLE und KEITH⁵² berichten, daß zwei Novaculit-Proben bei der DTA erst reagierten, nachdem sie bis zu ihrer natürlichen Korngröße (1–7 μ) zermahlen waren. Die beiden Autoren erklären das mit dem variablen Ausdehnungskoeffizient der Quarzmikrolithe, der durch ihre unorientierte Anordnung bedingt wird. Dadurch sollen lokal Spannungen entstehen, die die Inversionstemperatur gewisser Bereiche mehr oder weniger erhöhen, so daß kein Umwandlungspunkt resultiert, sondern ein breites Umwandlungsintervall. An gleicher Stelle erwähnen TUTTLE und KEITH 2 Hornsteinproben, von denen die eine auch nach der Zerkleinerung keinen Ausschlag gab.

15 zermahlene Kulmlydite zeigten keine Reaktion bei 575° C. Bei 3 Proben hatte die Kurve zwischen 570—590° einen kleinen endothermen Bogen (Abb. 13 A). Von 2 Proben wurde die Fraktion $< 2 \mu$ 4 Tage lang auf 600° erhitzt. Auch danach zeigten sie nicht die geringste Reaktion. Dagegen konnte nach wiederholtem (5—6mal) Tempern der Proben (bis 600°) eine schwache Reaktion beobachtet werden.

Das Ausbleiben der α/β -Quarz-Inversion kann nicht auf mangelnde Empfindlichkeit der Apparatur oder auf das Vorhandensein von amorphen Häuten zurückgeführt werden.

Mr. ROWLAND, Chefgeologe der Royal Dutch Shell, Houston, untersuchte freundlicherweise eine Probe mit einer sehr empfindlichen Apparatur, die auch die rückläufige Reaktion (β/α) registriert, und erhielt gleichfalls keinen Ausschlag.

Eine mit warmer NaOH 2 Std lang behandelte, dann dekantiert und ausgewaschene Probe gab auch keine Inversion.

Tuffige Lydite aus dem Wallauer Profil lieferten alle einen deutlichen Ausschlag. Die Zacke ist etwa halb so lang und etwas breiter als Abb. 13 C. Dieses Verhalten kann durch die oben erwähnte Umkristallisation leicht erklärt werden. — Von 5 silurischen Proben gaben alle einen scharfen Ausschlag bei 575° (Abb. 13 C). Ein algonkischer Lydit zeigte nur einen schwachen, bogenförmigen Ausschlag (Abb. 13 B).

Auf Grund dieser Beobachtungen möchte ich annehmen, daß paläozoische Kiesel-schiefer noch amorphe oder stark fehlgeordnete Kieselsäure enthalten können. Der Kristallisationsgrad ist nicht einfach eine Funktion des Alters. Die algonkische Probe gleicht mehr den kulmischen als den silurischen Lyditen.

Zu 2. Nach SCHWAB und WAHL⁴⁶ sind alle Eigenschaften organischer Kieselsäuren identisch mit chemisch gefällten SiO_2 -Gelen. Man kann daher, ganz abgesehen von den Ursachen ihrer Entstehung, als Ausgangsprodukt der Kiesel-schiefer ein wasserhaltiges SiO_2 -Gel, i. e. Opal betrachten.

Mit zunehmender Kristallisation entsteht aus Opal entweder Cristobalit oder Quarz (Chalzedon, Quarzin). Röntgenaufnahmen von Monterey-Kiesel-schiefern zeigen, daß die Kieselsäure hier als fehlgeordneter Tieftemperatur-Cristobalit im Sinne FLÖRKES¹⁸ vorliegt. BRAMLETTE⁵ vermutete bereits das Vorhandensein von Cristobalit in den Monterey-Schiefern. TALIAFERRO⁵¹ wies gleichfalls in miozänen Hornsteinen Cristobalit nach. Der Übergang von der Cristobalitphase zum mikrokristallinen Quarz (Chalzedon, Quarzin), wie er in älteren Kiesel-schiefern vorliegt, konnte an Lyditen bisher nicht beobachtet werden. Wie ein solcher Übergang aussehen kann, beschreibt BRAITSCH³. Die Bedingungen, unter denen sich aus Opal entweder Cristobalit oder Chalzedon bildet, und wann sich Cristobalit in Chalzedon, wann in Quarzin oder mikrokristallinen Quarz umwandelt, sind bisher unbekannt. Quarzin tritt vereinzelt in Kiesel-schiefern auf (BRAMLETTE⁵, DAVIS¹⁵).

Die Umwandlung der Kieselsäure in Kiesel-schiefern erfolgt demnach ausgehend von Opal über Cristobalit zu mikrokristallinem Quarz (Chalzedon, Quarzin). Nimmt man an, daß die Phasenumwandlung über die Lösung erfolgt, so kann auch von diesem Gesichtspunkt aus zeitweise mit dem Vorhandensein von amorpher Kieselsäure gerechnet werden.

Zu 3. Diese Frage berührt das Entstehungsproblem der Kiesel-schiefer.

Eine übersichtliche Darstellung und kurze Diskussion der Theorien, die sich damit befassen, findet man bei BRAMLETTE⁵, eine ausführliche Diskussion der meisten Theorien bei DAVIS¹⁵. WENK⁵⁵ bringt eine umfangreiche Literatur über den Entwicklungsgang einer Theorie (Kiesel-schiefer und Ophiolithe).

VI. Diskussion der wichtigsten Entstehungstheorien

Über den Anreicherungs Vorgang von Kieselsäure bestehen drei grundsätzliche verschiedene Anschauungen:

1. Die Kieselsäure wurde vulkanisch abgeschieden.
2. Die Kieselsäure gelangte durch Flüsse ins Meer und wurde dort ausgeflockt.
3. Die Kieselsäure wurde durch Organismen angereichert.

Kieselschiefer und Vulkanismus: Über das gemeinsame Auftreten von Kieselschiefern und sauren Tuffen ist schon oft berichtet worden (BRAMLETTE⁵, FISCHER¹⁷, DE LAPPARENT³¹, PITTMAN und DAVIS³⁹, TALIAFERRO⁵³). Die vorliegende Untersuchung hat gezeigt, daß auch die kulmischen Kieselschiefer im hessischen Hinterland und im Harz mit Tuffen wechsellagern.

Die meisten Autoren vertreten die Ansicht, daß bei der Umwandlung der Tuffe, auch wenn es sich um mächtige Lager handelt, keine größere Menge an Kieselsäure in das angrenzende Sediment gelangt. Bei den kulmischen Kieselschiefern kann von den Tuffen keine Kieselsäure abgeleitet werden, weil sie viel zu gering mächtig sind. Sie könnten lediglich als Zeugen eines syngenetischen sauren Vulkanismus betrachtet werden.

Kieselschiefer treten geologisch meistens zusammen mit Diabasen auf. (Ausnahme: Novaculite von Arkansas und Caballos, die nach HENBEST²⁵ in Durchschnittsproben etwa 5% Radiolarien enthalten und somit als kieselschieferähnliche Formation zu betrachten sind.) Eine direkte Herleitung der Kieselsäure von Diabasen ist chemisch nicht zu vertreten, weil Diabase SiO_2 -untersättigte Gesteine sind. Sehr verbreitet ist die Ansicht, daß Kieselschiefer und Diabase indirekt zusammenhängen, entweder über Exhalationen (DAVIS¹⁵, SCHWAN⁴⁷), oder über submarine Verwitterung. Diese Entstehungsmöglichkeiten sollen im folgenden diskutiert werden.

Die kulmischen Kieselschiefer sind ein Sediment, das im Durchschnitt 80 bis 90% SiO_2 enthält. Normale Tonschiefer bestehen zu 50—55% aus SiO_2 (Lias-Ton: 50%, Blauer Ton: 55% aus CORRENS¹⁴). Nimmt man eine vulkanische Zufuhr von Kieselsäure an, so müßten rund 30% SiO_2 vulkanogen sein. — Die Mächtigkeit der Lyditstufe beträgt auf Blatt Laasphe 20—30 m. Davon wären mit dieser Annahme etwa 10 m vulkanisches Kiesel-sediment. Die Steamboat Springs in Nevada haben 35 m mächtige Kiesel-sinter abgelagert (WHITE⁵⁶). Über die flächenhafte Verbreitung konnten keine Angaben gefunden werden. Dieses Beispiel zeigt, daß Geyserit-Ablagerungen Mächtigkeiten erreichen können, die, wenn man die diagenetische Verfestigung berücksichtigt, durchaus der SiO_2 -Zufuhr entsprechen, die für die Wallauer Kieselschiefer gefordert wurde.

Über den Mechanismus der SiO_2 -Abscheidung wird folgendes bemerkt: Nach ALLEN² haben heiße Quellen nur in seltenen Fällen eine so hohe SiO_2 -Konzentration, daß sie Kieselsäure direkt abscheiden. Meistens bildet sich Kiesel-sinter durch Verdunsten oder Gefrieren des Quellwassers. Diese beiden Vorgänge kommen bei submarinen Exhalationen nicht in Betracht. Eine direkte Abscheidung von Kieselsäure auf dem Meeresboden ist sehr unwahrscheinlich, weil stärker konzentrierte Lösungen oder Dämpfe durch das Meerwasser verdünnt werden. (Über Fällung von SiO_2 im Meer s. unten). Die Exhalationstheorie bringt also keine Lösung, sondern bestenfalls — d. h. wenn eindeutige Beweise

für Exhalationen erbracht werden können — eine Verlagerung des Problems. — Eine Beweisführung ist deshalb so schwierig, weil sich organische und anorganische Kieselgele nicht unterscheiden (s. S. 84). Auch das Isotopenverhältnis führt bisher zu keinem eindeutigen Ergebnis.

Spurenmehalle, die nach WHITE⁵⁶ für Geyseritablagerungen charakteristisch sein sollen, konnten in den Wallauer Kieselchiefern nicht gefunden werden. So erhält das Manganerz im Wallauer Profil $< 0,01\%$ Wolfram. Bei einem exhalativ abgeschiedenen Manganerz wäre nach WHITE mehr Wolfram zu erwarten.

Die submarine Verwitterung von Diabasen und ihrer Tuffe als Faktor der Kieselchieferbildung ist unwahrscheinlich. Diese Verwitterung setzt eine Lösung und Fällung von Kieselsäure voraus. Die Lösung kann nur erfolgen, wenn das Meerwasser an SiO_2 untersättigt ist, wie heute vielfach angenommen wird⁸. Die Bedingung für eine direkte Fällung von SiO_2 im Meerwasser — einerlei ob die gelöste oder solfförmige Kieselsäure ein Produkt der Halmyrolyse ist oder durch Flüsse ins Meer gelangte — wäre demnach zunächst ein Anreicherungsverfahren. Hierfür müssen zusätzliche Hypothesen aufgestellt werden, worauf an dieser Stelle verzichtet wird.

Kieselchiefer und Organismen. Es ist auffallend, daß die früheren Bearbeiter der kulmischen Kieselchiefer — sofern sie Stellung zu diesem Problem nehmen — alle eine organogene Abscheidung der Kieselsäure zu beweisen suchen. Grundsätzlich ist nicht einzusehen, weshalb Kieselorganismen nicht ebenso wie Kalkorganismen gesteinsbildend auftreten können. Wie weit eine Zunahme der SiO_2 -Konzentration im Meerwasser das Massenaufreten von Kieselorganismen begünstigt (BRAMLETTE⁵ nach BIGELOW), und in welchem Umfang vulkanische Ereignisse die SiO_2 -Konzentration erhöhen, kann nicht sicher entschieden werden. Nach den Ergebnissen der Meeresbiologie sind der Phosphor-, Stickstoff- und Eisengehalt des Meerwassers für die Planktonentwicklung mindestens ebenso wichtig wie die SiO_2 -Konzentration (HARVEY²³).

Eigene Beobachtungen zeigen, daß innerhalb einer Lyditbank die Radiolarien zonenweise auftreten können. Die Zonen sind 0,1–3 cm mächtig und bestehen fast nur aus umkristallisierten (Quarz-Chalzedon) Radiolarien. Dann folgt ein Bereich, der nur vereinzelte Chlorit- und/oder Albit-Quarzsphärolithe enthält. Der SiO_2 -Gehalt liegt in den radiolarienreichen Zonen 2–3% höher als in den radiolarienarmen Zonen. Die Unterschiede im MgO - und Na_2O -Gehalt sind in der Größenordnung von Zehntelprozenten. Dieser Wechsel konnte am Stift in einer Schichtfolge von 30 cm makroskopisch und im Schliff verfolgt werden. In den unteren Partien von radiolarienreichen Lyditbänken tritt immer eine radiolarienarme Zone auf. Wird die Bank von einem Tuff- oder Tonschieferhorizont unterlagert, so kann man annehmen, daß ein geringer Anteil Tuff- oder Tonkomponente im Liegenden der nach oben angrenzenden Lyditbank abgelagert wurde. Grenzen 2 Lyditbänke direkt aneinander, so liegt die Vermutung nahe, daß die sehr dünnen, hellen Überzüge, die auf den Schichtflächen zwischen 2 Lyditbänken zu beobachten sind, auch tonig-tuffiges Material darstellen, das die Aufspaltung einer sonst völlig homogenen Lyditbank in 2 Bänke verursachte. Möglicherweise ist die Tuff- bzw. Tonkomponente im Kieselchieferverband überhaupt entscheidend für die bankige Ausbildung des Gesteins im Gegensatz zu anderen Kiesel-sedimenten, die als Knollen oder Schnüre auftreten.

Das Vorkommen von Lyditen, die überwiegend aus Radiolarien bestehen und lokal sogar vorherrschen können wie bei Herborn (SCHWARZ⁴⁸), soll nicht bestritten werden. Bei solchen Proben kann man die Kieselorganismen als entscheidenden Faktor für die Kieselschieferbildung betrachten. Dagegen ist diese Annahme weniger überzeugend, wenn man radiolarienarme Proben berücksichtigt. Man kann bei diesen Proben annehmen, daß der größte Teil der Skelette im Sediment aufgelöst wurde. Durch die Zersetzung von organischer Substanz entsteht Ammoniak, der eine weitgehende Auflösung der Radiolarienschalen verursacht, wie Experimente von CORRENS¹⁰ gezeigt haben. Dieser Vorgang wird zweifellos wirksam sein, wobei berücksichtigt werden muß, daß tierische Substanz unter entsprechenden Bedingungen mehr NH_3 erzeugt als pflanzliche Substanz. Da in den Kieselschiefern wahrscheinlich ein großer Teil des Bitumen von Pflanzen geliefert worden ist (s. S. 68) kann man keine strenge Gesetzmäßigkeit zwischen Radiarienhäufigkeit und Kohlenstoffgehalt erwarten. — Ob die Auflösungstheorie die insgesamt sehr mächtigen, radiolarienarmen Lyditschichten befriedigend erklärt, kann mit Sicherheit erst dann entschieden werden, wenn Daten über die Unterschiede in der Schalendicke mindestens bei rezenten Kieselorganismen und über ihre relative Auflösungsgeschwindigkeit bekannt werden.

In dieser Diskussion wurde versucht, aus den experimentellen Ergebnissen der Arbeit Gesichtspunkte für die Entstehung der kulmischen Kieselschiefer zu gewinnen. Als sicher nachweisbarer Faktor sind die Kieselorganismen zu betrachten. Wieweit vulkanische Ereignisse mitwirken — entweder direkt durch Exhalationen oder indirekt, indem sie das Massenaufreten von SiO_2 -Organismen begünstigen —, kann an Hand der vorliegenden Ergebnisse nicht entschieden werden.

Meinem verehrten Lehrer, Herrn Professor CORRENS, danke ich herzlich für die Überlassung dieser Arbeit, für sein reges Interesse an ihrem Verlauf, für viele anregende Diskussionen und alles, was ich bei ihm lernen durfte.

Ferner danke ich Fräulein Dr. SCHNEIDERHÖHN, Herrn Dr. KORITNIG und Herrn Dr. BRAITSCH für viele wertvolle Ratschläge und allen anderen, die mir meine Arbeit erleichtert haben.

Mein besonderer Dank gilt Herrn R. SCHLOTE für die Anfertigung von 150 Dünnschliffen und Herrn Dr. F. W. SCHLOTE für die Mühe mit den Elektronenaufnahmen, sowie Herrn und Frau KARL VELTE für ihre gastliche Aufnahme in Wallau.

Zusammenfassung

Profile von kulmischen Kieselschiefern des hessischen Hinterlandes wurden optisch, röntgenographisch, chemisch, spektralanalytisch und differentialthermoanalytisch untersucht. Die nicht-lyditischen Bestandteile wurden besonders berücksichtigt.

Als Vergleichsmaterial dienten kulmische Kieselschiefer aus dem Harz, sowie tertiäre (Monterey), silurische und algonkische Kieselschiefer. Es wurde festgestellt, daß in der Kulmstufe II—III_α (dunkle und bunte Lydite) im hessischen Hinterland und im Harz zahlreiche, gering mächtige Tuffhorizonte auftreten; ihre Häufigkeit nimmt nach oben hin zu. Die bunten Lydite führen tuffitische Bänke, deren Grundmasse ursprünglich kalkig war. Die bisher nur aus dem Harz bekannten, kieseligen Tuffe des Kulms (Typ Lerbacher Adinole) sind auch im hessischen Hinterland verbreitet.

Mit Röntgen- und DTA-Aufnahmen wurde zu zeigen versucht, daß die Kiesel-säure seit der Entstehung des Sediments folgende Phasenumwandlungen erfahren hat:

Opal → Cristobalit → mikrokristalliner Quarz (Chalzedon, Quarzin), und daß in paläozoischen Kiesel-sedimenten noch amorphe oder stark fehlgeordnete Kiesel-säure vorhanden sein kann.

Die Entstehung der kulmischen Kiesel-schiefer wird diskutiert.

Literatur

- ¹ AHRENS, L. H.: Quantitative Spectrochemical analysis of silicates. London: Pergamon Press Ltd. 1954. — ² ALLEN, E. T.: The agency of algae in the deposition of travertine and silica from thermal waters. Papers from the Geophysical Laboratory, Carnegie Inst. Nr 861, S. 373—389 (1934). — ³ BRAITSCH, O.: Über die natürlichen Faser- und Aggregationstypen beim SiO₂, ihre Verwachsungsformen, Richtungsstatistik und Doppelbrechung. Heidelbg. Beitr. Mineral. u. Petrogr. **5**, 331, 334-372 (1957). — ⁴ BRADLEY, W. F.: X-Ray diffraction criteria for the characterization of chloritic material in sediments. II. National Conf. on Clays & Clay minerals, S. 324—372. — ⁵ BRAMLETTE, M. N.: The Monterey Formation of California and the origin of its silicious rocks. Geol. Survey Prof. Paper 212, S. 1—55 (1946). — ⁶ BRANDES, R., u. E. F. GERMAR: Über die Mangan-Carbonat-Silicate des Unterharzes. Schweigggers J. Chem. u. Phys. **26**, 103—155 (1819). — ⁷ BRAY, J. M.: Spectroscopic distribution of minor elements in igneous rocks from Jamestown, Colorado. Bull. Geol. Soc. Amer. **53**, 765—814 (1942). — ⁸ CHILINGAR, G. V.: Distribution and abundance of chert. Bull. Geol. Soc. Amer. **67**, 1559—1562 (1956). — ⁹ CLAUS, R.: Die Elsoffer Kulmmulde. Diss. Berlin (1922). — ¹⁰ CORRENS, C. W.: Beiträge zur Petrographie und Genesis der Lydite. Mitt. der Abt. für Erz-Salz-Gesteinsmikroskopie, S. 18—38 (1924). — ¹¹ CORRENS, C. W.: Wissenschaftliche Ergebnisse der Meteor-Expedition, S. 35. Berlin u. Leipzig 1937. — ¹² CORRENS, C. W.: Zur Geochemie der Diagenese. Geochim. et Cosmochim. Acta **1**, 49—54 (1950). — ¹³ CORRENS, C. W.: Erl. zu Blatt Buchenau. 1934. — ¹⁴ CORRENS, C. W.: Einführung in die Mineralogie. Berlin: Springer 1949. — ¹⁵ DAVIS, E. F.: The radiolarien cherts of the Franciscan group. Univ. California Publ., Dept. Geol. Sci. Bull. **11**, Nr 3, 235—432 (1918). — ¹⁶ DEGENHARDT, H.: Die Geochemie des Zirkons. Diss. Göttingen 1955. — ^{16a} DIETZ, R. S., K. O. EMERY and F. P. SHEPARD: Phosphorit deposits and the sea floor of Southern California. Bull. Geol. Soc. Amer. **53**, 815—848 (1942). — ¹⁷ FISCHER, G.: Die Gesteine der metamorphen Zone von Wippra unter Berücksichtigung der Grünschiefer. Abh. preuß. geol. Landesanst. **121**, 1—64 (1929). — ¹⁸ FLÖRKE, O. W.: Zur Frage des „Hoch“cristobalit in Opalen, Bentoniten und Gläsern. Neues Jb. Mineral., Geol. Paläont., Mh. **1955**, 217—223. — ¹⁹ FÜCHT, BAUER, H.: Zur Entstehung und Optik authigener Feldspäte. Neues Jb. Mineral., Geol. Paläont., Mh. **1956**, 1, 9—23. — ²⁰ GOLDSCHMIDT, V. W.: Geochemistry. Oxford: Clarendon Press 1954. — ²¹ GREIM, G.: Beitrag zur Kenntnis des Kiesel-schiefers. Verh. physik.-med. Ges. Würzburg **24**, Nr 7, 1—34 (1890). — ²² GUNDLACH, K.: Der Unterkarbonische Vulkanismus im Variskischen Gebirge Mitteldeutschlands. Abh. preuß. geol. Landesanst. **1933**, H. 157. — ²³ HARVEY, H. W.: Recent advances in the chemistry and biology of sea water. Cambridge: University Press 1945. — ²⁴ HAUBOLD, W.: Über das Unterkarbon auf Blatt Goddelsheim am Ostrand des Rheinischen Schiefergebirges. Jb. preuß. Landesanst. **1932**, 206—246. — ²⁵ HENBEST, L. G.: Radiolaria in the Arkansas novaculite, Caballos novaculite, and Bigfort chert. J. paleontol. **10**, 76—78 (1936). — ²⁶ HERITSCH, F. u. H.: Lydite und ähnliche Gesteine aus den Karnischen Alpen. Mitt. alpenl. geol. Ver. **34** (1941). — ²⁷ HINDE, G. J.: On a well-marked horizon of radiolarian rocks in the lower Culm measures of Devon, Cornwall, West Somerset. Quart. J. Geol. Soc. London **1895**, 609—668. — ²⁸ HUMMEL, K.: Über Manganerze im Kulm des Kellerwaldes. Z. prakt. Geol. **31**, 89—93 (1923). — ²⁹ JASMUND, K.: Texturaufnahmen von blättchenförmigen Mineralien. Neues Jb. Mineral., Geol. Paläont., Mh. **1950**, H. 3, 63—72. — ³⁰ KNIGHT, A. G.: Die Bestimmung von Calcium in Wasser. Chem. u. Ind. **1951**, 1141. — ³¹ LAPPARENT, J. DE: Sur les roches à radiolaires des terrains dévoniens de la vallée de la Bruche. C. R. Acad. Sci. Paris **69**, 802 (1919). — ³² LEHDER, J.: Phosphorit-

konkretionen des untersten Culm in Ostthüringen und im Vogtland. Neues Jb. Mineral., Geol. Paläont., Beil.-Bd. **21**, 302 (1905). — ³³ LIPPMANN, F.: Mineralogische Untersuchungen an einigen niederhessischen Tertiärtonen. Heidelbg. Beitr. Mineral. u. Petrogr. **1952**, 219 bis 254. — ³⁴ MENIL, DU: Zerlegung einiger Kieselschiefer. Schweiggers J. Chem. u. Phys. **28**, 238—246 (1820). — ³⁵ MENIL, DU: Chemische Zerlegung einiger Kiesel-mangane. Gilberts Ann. Phys. **61**, 190—204 (1819). — ³⁶ MERCY, E. L. P.: The accuracy and precision of rapid methods of silicate analyses. Geochim. et Cosmochim. Acta **9**, No 4, 161—173 (1956). — ³⁷ MILCH, L.: Über die Adinolen und Adinolschiefer des Harzes. Z. dtsch. geol. Ges. **69**, 349—486 (1917). — ³⁸ MÜGGE, O.: Untersuchungen über die Lenneporphyre in Westfalen und den angrenzenden Gebieten. Neues Jb. Mineral., Geol. Paläont. **1893**, 535—715. — ³⁹ PITTMANN, E. F., and T. W. E. DAVID: Palaeozoic radiolarian rocks of New South Wales. Quart. J. Geol. Soc. London **1899**, 16—37. — ⁴⁰ REICH, H.: Erl. zu Blatt Laasphe 1934. — ⁴¹ ROSS CLARENCE, S.: Provenience of pyroclastic materials. Bull. Geol. Soc. Amer. **1955**, 427. — ⁴² SARGENT, H. C.: On the origin of certain clay bands in the Limestone of the Crich Inlier (Derbyshire). Geol. Mag. **1912**, 406—412. — ⁴³ SCHMIERER, TH.: Erl. zu Blatt Bieden-kopf. 1934. — ⁴⁴ SCHNEIDERHÖHN, H.: Vorkommen von Spurenelementen in deutschen Sedimentgesteinen. Neues Jb. Mineral., Geol. Paläont., Abt. A **1949/50**, 50—72. — ⁴⁵ SCHÜLLER, A.: Zur Kenntnis des initialen Keratophyrvulkanismus im thüringisch-vogtländischen Kulm. Neues Jb. Mineral., Geol. Paläont., Abh., Abt. A **80**, 121—144 (1949). — ⁴⁶ SCHWAB, G. M., u. B. WAHL: Beiträge zur Struktur der organischen Kieselsäure. Naturwiss. **1956**, 513. — ⁴⁷ SCHWAN, W.: Geologisches Auftreten und Entstehung der Kieselschiefer (Lydite). Geologica **1951**, H. 11, 115—134. — ⁴⁸ SCHWARZ, A.: Die Natur des kulkmischen Kieselschiefers. Diss. Frankfurt 1928. — ⁴⁹ SCHWARZMANN, S.: Über die Lichtbrechung und den Achsenwinkel von Hochtemperaturplagioklasen und ihre Entstehungsbedingungen. Heidelbg. Beitr. Mineral. u. Petrogr. **1956**, 105—112. — ⁵⁰ SHAPIRO, L., and W. W. BRANNOCK: Rapid analysis of silicate rocks. Geol. Survey Bull. **165** (1951). — ⁵¹ SHAPIRO, L., and W. W. BRANNOCK: Geol. Survey Bull. **1036 C**. 1955. — ⁵² TALIAFERRO, N. L.: Some properties of opal. Amer. J. Sci. **30**, 450 (1935). — ⁵³ TALIAFERRO, N. L.: The relation of Vulcanism to diatomaceous and associated silicious sediments. Univ. California Publ. **23** (1933). — ⁵⁴ TUTTLE, O. F., and M. L. KEITH: Significance of variation in the high-low-inversion of quartz. Amer. J. Sci. (Bowen-Festschr.) **1952**, 203—280. — ⁵⁵ WENK, E.: Die Assoziation von Radiolarienhornstein mit ophiolithischen Erstarrungsgesteinen als petrogenetisches Problem. Experientia [Basel] **5** (1949). — ⁵⁶ WHITE, DONALD E.: Thermal Springs and epithermal deposits. Economic Geology, 50. Anniversary Vol., p. 99—154. 1955. — ⁵⁷ WOLFF, T. v.: Beschreibung einer leicht justierbaren Guinier-Kamera für alle Winkelbereiche. Heidelbg. Beitr. Mineral. u. Petrogr. **4**, 243—250 (1954). — ⁵⁸ WUNDERLICH, F.: Beitrag zur Kenntnis der Kieselschiefer, Adinolen und Wetzschiefer des Nordwestlichen Oberharzes. Mitt. berg- u. hüttenmänn. Ver. „Maja“ **1880**, H. 11, 1—95.

Dr. HILDEGARD HOSS, z. Z. Rice Institute, Houston/Texas

Radioaktive Isotope ihre Herstellung und Anwendung

Von Dr. Kurt Schmeiser, Knapsack-Griesheim AG., Werk Knapsack bei Köln, früher Institut für Physik am Max-Planck-Institut für medizinische Forschung, Heidelberg.
Mit 193 Abbildungen. XI, 246 Seiten Gr.-8°. 1957. Ganzleinen DM 48.60

Inhaltsübersicht: **I. Grundbegriffe des Atomaufbaues und der Radioaktivität sowie Möglichkeiten zur Herstellung künstlich radioaktiver Isotope.** Atomaufbau und Isotopie. Radioaktivität, radioaktive Familien. Umwandlung von Atomkernen, künstliche Herstellung radioaktiver Isotope. Eigenschaften künstlich erzeugter β -Strahler. — **II. Nachweisgeräte für radioaktive Strahlung.** Ionisationskammer. Geiger-Müllersches Zählrohr. Proportionalzählrohre, Vor- und Nachteile derselben. Szintillationszähler. Einige Bemerkungen über Impulsverstärker. — **III. Durchgang von β -Teilchen durch Materie.** Verhalten monoenergetischer Elektronen. Zerfallselektronen. — **IV. Nachweis von β -Strahlen.** Allgemeine Bemerkungen. Zählrohrmessungen von radioaktiven Präparaten in fester Form. Messung von Präparaten in flüssiger Form. Messung gasförmiger Proben. Zählverluste durch begrenztes Auflösungsvermögen. Genauigkeit radioaktiver Messungen. — **V. Wechselwirkung von γ -Strahlung mit Materie und Nachweis derselben.** Absorption von γ -Strahlung. Nachweis von γ -Strahlung mit Geiger-Müller-Zählrohren und Szintillationszählern. — **VI. Wechselwirkung von α -Strahlen mit Materie und Nachweis von α -Strahlen.** Wechselwirkung mit Materie. Nachweis von α -Teilchen. — **VII. Absolute Messungen.** Vergleich der Meßgröße mit der Impulshäufigkeit eines Eichpräparates bekannter Aktivität. Methoden zur direkten Bestimmung der absoluten Stärke eines radioaktiven Präparates. Einfluß des Zerfallsschemas auf die Impulshäufigkeit. — **VIII. Autoradiographie.** Methode, Anwendungsbereich, Vorteile der Autoradiographie. Physikalische Grundlagen. Herstellung von Gewebeschnitten. Die verschiedenen Techniken zur Herstellung von Autoradiogrammen. Artefakte. Quantitative Autoradiographie. — **IX. Strahlenwirkung, Strahlenschutz, Laboreinrichtungen.** Strahlenwirkung. Strahlenschutz. Vorsichtsmaßnahmen. Laboreinrichtungen. — **X. Anwendungsbeispiele für radioaktive Methoden.** Beispiele mit radioaktiver Markierung. Quantitative Analyse mit Hilfe von radioaktiven Isotopen. Aktivierungsanalyse. Verknüpfung der Aktivierungsanalyse mit papierchromatischer und elektrophoretischer Trennung chemischer Verbindungen. Einige technische Anwendungsbeispiele. — **Sachverzeichnis.**

Flammenphotometrie

Von Dr. rer. nat. Roland Herrmann, Gießen. Mit 90 Textabbildungen. VIII, 327 Seiten Gr.-8°. 1956. Ganzleinen DM 39.60

Aus den Besprechungen: Bei der wachsenden Bedeutung der Flammenphotometrie und der Vielfalt der Methoden erschien eine zusammenfassende Arbeit über das gesamte Gebiet der Flammenphotometrie seit längerer Zeit wünschenswert. Diesem Wunsche trägt die vorliegende Monographie von R. Herrmann Rechnung; sie gibt einen wirklich umfassenden Überblick über den heutigen Stand der flammenphotometrischen Arbeitsweisen und Möglichkeiten. . .

Ein breiter Raum ist der Diskussion der Fehler und ihrer Behebung gewidmet. Gerade die Erkennung der Fehlerquellen und ihre Beherrschung ist, wie im Vorwort ausgeführt wird, für ein erfolgreiches Arbeiten notwendige Voraussetzung. Das Buch enthält manche Anregungen zu theoretischen Überlegungen, ist aber in erster Linie für den Praktiker geschrieben, und so findet man in einem Kapitel „Anwendungen“ eine Fülle zum Teil detaillierter Angaben über die Verwendung flammenphotometrischer Methoden für spezielle Probleme aus Landwirtschaft, Medizin und vielen anderen Forschungsrichtungen in Wissenschaft und Industrie. . .

Ein umfangreiches Literaturverzeichnis (über 600 Quellen) sowie ein Sachverzeichnis ermöglichen eine rasche Orientierung in dem weitzerstreut liegenden Schrifttum. Das Buch enthält in einem Anhang eine Anzahl Aufnahmen von Flammenspektren, die besonders für den Anfänger sehr nützlich sind, und Verzeichnisse wichtiger Spektrallinien aller derjenigen Elemente, die flammenphotometrischen Analysen zugänglich sind.

„Zeitschrift für Naturforschung“

SPRINGER-VERLAG / BERLIN · GÖTTINGEN · HEIDELBERG

6. Band

Inhaltsverzeichnis

1. Heft

Seite

RIMŠAITE, J., Über die Eigenschaften der Glimmer in den Sanden und Sandsteinen. Mit 9 Textabbildungen	1
BREHLER, B., Über die Messung von Massenschwächungskoeffizienten bei der Phasen- analyse mit dem Zählrohrgoniometer. Mit 2 Textabbildungen	52
HOSS, H., Untersuchungen über die Petrographie kulmischer Kieselschiefer. Mit 13 Text- abbildungen	59

Hinweise für Autoren

Es wird gebeten, bei der Abfassung der Manuskripte folgendes zu beachten:

1. Ausführung der Arbeiten, die in Deutsch, Englisch oder Französisch abgefaßt sein können, in Maschinenschrift auf einseitig beschriebenen Blättern.
2. Voranstellungen einer kurzen Zusammenfassung des Inhalts *vor* dem Text, bzw. Inhaltsübersicht mit Seitenangabe.
3. Angabe von Ursprungsort und Abschlußdatum.
4. Es ist notwendig, den vollen ausgeschriebenen Vornamen des Verfassers anzugeben.
5. Fußnoten sind laufend durch die ganze Arbeit durchzunummerieren.
6. Entsprechend den Hinweisen im Text ist am Schluß der Arbeit ein Literaturverzeichnis mit übereinstimmender Numerierung ¹, ², ³ usw. einzufügen.
7. Zeichen für Maßeinheiten, Konstanten, Formelzeichen, Abkürzungen usw. sind in Übereinstimmung mit dem Gmelinschen Handbuch der anorganischen Chemie, 8. Aufl., zu bringen.
8. Die Beschriftung der Abbildungsvorlagen wird lediglich mit Bleistift erbeten; erläutern-der Text dazu ist gesondert beizufügen. Angabe einer kurzen, aber erschöpfenden *Unterschrift* für jede Abbildung erbeten.
9. Besondere Hervorhebungen im laufenden Text erfolgen durch *Kursivsatz* und sind im Manuskript durch *Unterstreichen* der betreffenden Wörter zu bezeichnen.
10. Für Kleindruck vorgesehene Stellen sind am Rande des Manuskriptes durch einen vertikalen Strich unter Beifügung des kleinen Buchstabens p zu kennzeichnen.
11. Autoren-Namen werden in Kapitälchen (MEIER) gesetzt und sind im Manuskript mit Großbuchstaben zu schreiben.

